平成 24 年度
電子工学科
卒業研究発表会
予稿集

平成 25 年 2 月 22 日(金)
熊本高等専門学校・電子工学科

セッション１: ２号棟１階　カンファレンスルーム
セッション２：くぬぎ会館２階　第一研修室

平成24年度 電子工学科卒業研究会プログラム

平成25年2月22日実施

セッション1　　　会場：カンファレンスルーム（2号棟1階）

発表番号	開始時刻	終了時刻	題目	No.	氏名	指導教員	司会、時計
E-01	9:00	9:15	Ge微量添加SiGe混晶半導体デバイスに及ぼす電子線照射の影響	A5239	村上 英司郎	角田	本木卒
E-02	9:15	9:44	Au誘起固相成長に及ぼすa-Ge膜厚分布の影響	A5205	大坪 孝総		
				A5209	酒井 崇嗣		
E-03	9:44	10:13	微細加工技術を用いた3次元積層構造の作製プロセス検討	A5218	中嶋 一敬		
				A5241	茂藤 健太		
E-04	10:13	10:28	電子線照射したSiGeCダイオードの特性評価	A5242	森岡 佑介		
10分休憩							
E-05	10:38	10:53	裸眼3D ディスプレイを用いたリアルモニタリングシステムの開発	A5219	中原 直人	本木	三好卒
E-06	10:53	11:08	英語多読支援のためのCGIアプリの作成	A5232	松尾 隆嗣		
E-07	11:08	11:23	Windows server 2012を用いた研究室内のサーバ構築	A5208	沖田 龍紀		
E-08	11:23	11:38	Arduinoを用いたラジコンカーの自動制御	A5223	西山 慧		
E-09	11:38	11:53	非乗算型パルスニューロンモデルを用いた文字認識システムの開発	A5243	八浪 悟士		
昼休み							
E-10	13:00	13:15	ステレオ音源の左右位相差による音像定位実験	A5203	上村 周也	三好	寺田卒
E-11	13:15	13:30	サウンドプロセッサを用いた3次元立体音場の生成	A5204	遠藤 弘也		
E-12	13:30	13:45	カラーイメージの定量的表現方法の研究	A5230	外浦 穣		
E-13	13:45	14:00	ポスターデザインに対する視覚的感性の視線追尾による検討	A5234	松田 友美		
E-14	14:00	14:15	簡易設置可能な没入型ディスプレイ装置の製作	A5240	村上 紘一		
10分休憩							
E-15	14:25	14:40	DC-DCコンバータ回路のシミュレーション	A5235	三隅 裕	寺田	葉山卒
E-16	14:40	14:55	スイッチトキャパシタAC-DCコンバータに関する研究	A5227	平井 崇詞		
E-17	14:55	15:10	CentOSを用いたサーバ構築	A5224	野尻 祥平		
10分休憩							
E-18	15:20	15:35	CAD・3Dプリンターを用いた構造体設計・製作方法の研究	A5207	緒方 祐太	葉山	角田卒
E-19	15:35	15:50	追従性を高めたセンサ分離型ラインレースロボットの開発	A5228	福田 尚也		
E-20	15:50	16:05	自律帰還型飛行体に関する研究	A5229	藤井 駿		
E-21	16:05	16:20	マルチローターヘリの制御ソフトウェアに関する研究	A5244	吉村 圭一郎		

セッション2　　　会場：第一研修室（くぬぎ会館2階）

発表番号	開始時刻	終了時刻	題目	No.	氏名	指導教員	司会、時計
E-22	9:00	9:15	基板温度変化がGa2O3の結晶性に及ぼす影響	A5236	皆見 憲亮	高倉	松尾卒
E-23	9:15	9:30	電子線照射前後のひずみSi MOSFETの特性評価	A5231	堀 眞聡		
E-24	9:25	9:40	Si1-xGex S/D p-MOSFETsの照射導入欠陥が電気特性に及ぼす影響	A5217	月井 千尋		
E-25	9:40	9:55	民生電子デバイスの放射線耐性評価	A5245	米倉 拓也		
10分休憩							
E-26	10:05	10:20	静電界に関する研究 -直方体空間内の点電荷による静電界の数値計算-	A5206	大堂 弘智	下田	高倉卒
E-27	10:20	10:35	電磁波の散乱に関する研究-平面波について-	A5201	青木 梨玖		
E-28	10:35	10:50	電磁波の散乱に関する研究 -境界面での反射・屈折について-	A5211	高橋 賢		
E-29	10:50	11:05	電磁波の散乱に関する研究 -表面プラズモンに関する数値計算-	A5212	高村 明秀		
E-30	11:05	11:20	電磁波の散乱に関する研究 -全反射における透過波の振る舞いについて-	A5213	田尻 篤志		
昼休み							
E-31	13:00	13:53	Si表面上のAg吸着構造 ～STMによるサブナノメートル解析～	A5202	入口 健太	大石	下田卒
				A5210	志水 康平		
				A5214	建山 知輝		
				A5233	松下 淳矢		
10分休憩							
E-32	13:53	14:08	誘電加熱用発振源に関する検討	A5226	原田 起伸	伊山	大石卒
E-33	14:08	14:23	10GHz帯ドップラーセンサーの検出エリア評価	A5225	橋本 美香		
E-34	14:23	14:38	ドップラーセンサーモジュール用10GHz帯BPFに関する特性シミュレーション	A5237	宮城 弘佑		
E-35	14:38	14:53	SiC素子を用いたスイッチング回路に関する研究	A5238	妙玄 翔太		
10分休憩							
E-36	15:03	15:18	OpenCVを用いた顔認識ソフトの開発	A5220	中原 優	松尾	伊山卒
E-37	15:18	15:33	UNIX OSによる仮想化サーバーの構築	A5221	仲摩 幸広		
E-38	15:33	15:48	.NET Frameworkを用いた音声認識アプリケーションの作成	A5216	田中 修司		
E-39	15:48	16:03	Androidアプリの製作 地図データを用いた行動記録システム	A5215	建山 大宙		

ベル：発表終了2分前 ─　発表終了 ──　質疑終了 ───　（連名の場合 12分ごと ─）

番　　号	E-01	発表年月日	平成２５年２月２２日

（題名）Ge 微量添加 SiGe 混晶半導体デバイスに及ぼす電子線照射の影響
（副題）

研究者（連名者）	村上英司郎
所　　属	電子工学科
指導教員	角田功（ 准教授 ）

１．はじめに

近年，半導体デバイスの利用範囲は地球上のみならず，人工衛星や宇宙ステーションなど，宇宙空間にまで及んでいる．しかし，宇宙空間は地上に比べて過剰に放射線が存在するため，半導体デバイスは放射線の影響により電気的特性が劣化してしまう．そこで，放射線による半導体デバイスの特性劣化の影響を評価する必要がある．

一方，半導体デバイス材料の中心はシリコン(Si)で，集積回路の 90%以上は Si 半導体である．半導体デバイスでは，微細化技術によって性能向上を図ってきたものの，現在微細化による性能向上には限界が見え始めている．

これまで SiGe 混晶半導体は電気的特性を評価してきた材料の中で，高い耐放射線性を有することが明らかになっている[1]．しかし，Si に添加する Ge は希少金属でありコストの高い材料である．そこで我々は，Si に Ge 微量添加した SiGe ダイオードに着目し，このデバイスに及ぼす電子 s ん照射の影響を評価した．

２．実験方法および使用素子

測定試料は，共同研究を行っている Instituto de Microelectrónica de Barcelona - Centro Nacional de Microelectrónica (IMB-CNM)より提供された Ge 微量添加 SiGe(濃度 1%)ダイオードと Si ダイオードを用いた．

本実験では日本原子力研究開発機構・高崎量子応用研究所の電子加速器を利用し，加速エネルギー 2 MeV の電子線を照射した．照射量は 1×10^{14}，1×10^{15} 及び 1×10^{16} e/cm^2 とした．照射前後の I-V 特性及び C-V 特性を測定することにより，電子線照射による電気的特性の劣化について評価した．また，DLTS 測定により，電子線照射により導入される欠陥を評価した．

３．結果・考察

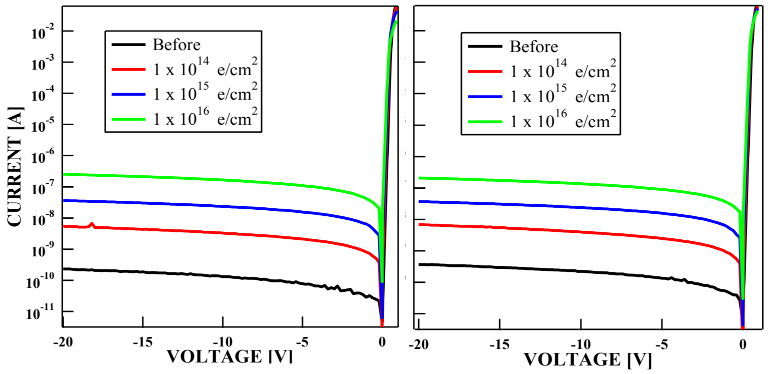
図 1 に Si ダイオードと SiGe ダイオードの I-V 特性を示す．双方のダイオードともに，照射量の増加に伴い，逆方向電流が増加した．これは，電子線照射によって導入された格子欠陥が再結合中心を形成することで，再結合電流が増加したものと考えられる．ここで，Si 及び SiGe ダイオードに及ぼす電子線照射の影響を定量的に評価するために，逆方向電流の電子線照射前後による比を Damage Factor (D.F.)として(1)式にて定義し，照射量の関数として図 2 に整理した．

$$\text{Damage Factor(D.F.)}=\frac{I_{after}}{I_{before}} \quad (1)$$

ここで I_{before} 及び I_{after} は，-20V の電圧における電子線照射前及び照射後の電流値である．
図 2 の結果より，双方のダイオードの D.F.値は電子線照射量の増加に伴い増加すること，Ge 無添加の場合に比べ，Ge 微量添加により D.F.値が大幅に低下することが分かった．この場合は，Ge 微量添加により耐電子線性が向上することを示唆している．

図 3 に Si 及び SiGe ダイオードの C-V 特性を示す．双方のダイオードともに，照射量の増加に伴い静電容量が減少することが分かった．これは，電子線照射により不純物が電気的に不活性化し，キャリア密度が減少したため空乏層幅が増加し，静電容量が減少したためと考えられる．また，I-V 特性同様，電子線照射の影響を定量的に評価するため，キャリア密度から D.F.値を算出し図 4 に整理した．その結果，照射量の増大に伴い，D.F.値は減少したが，双方のダイオードの D.F.値に Ge 微量添加による差異は見られなかった．即ち，照射によるキャリア密度の減少は基板側に影響しないことが

分かった.



(a) Siダイオード　　(b) SiGeダイオード

図1. Si及びSiGeダイオードのI-V特性

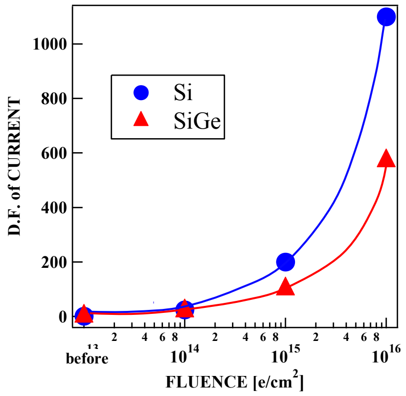
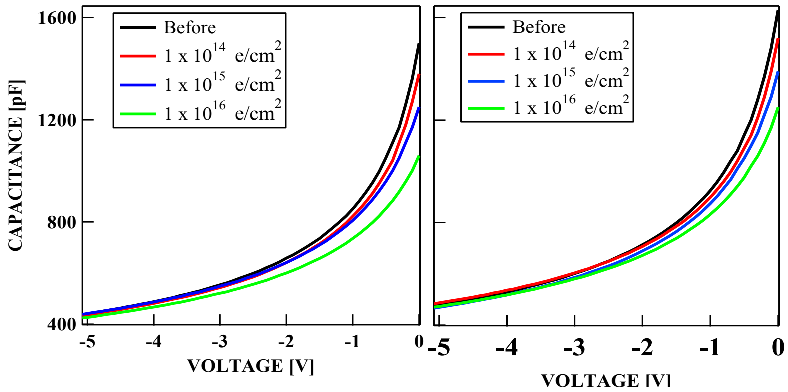


図2. Si及びSiGeダイオードのI-V特性のDamage Factor



(a) Siダイオード　　(b) SiGeダイオード

図3. Si及びSiGeダイオードのI-V特性

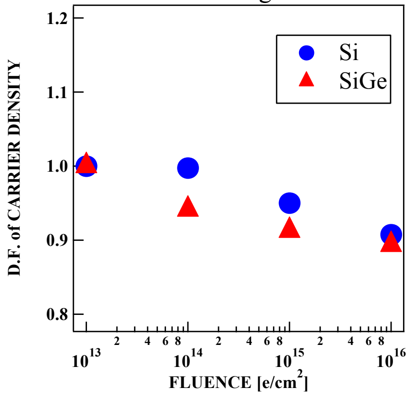


図4. Si及びSiGeダイオードのキャリア密度のDamage Factor

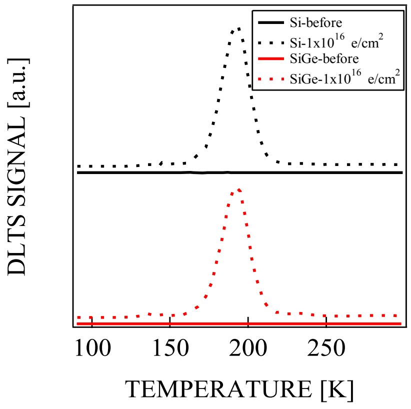


図5. Si及びSiGeダイオードのDLTSスペクトル

最後に，電子線照射した Si 及び SiGe ダイオードの DLTS 測定の結果を図 5 に示す．双方のダイオードの DLTS スペクトルより, 190K 付近に大きなピークが現れ, 深い順位を観測できた．

更に，190K 付近のピーク値から活性化エネルギー，欠陥密度を算出したところ，活性化エネルギーは Si ダイオードが 0.41eV，SiGe ダイオードが 0.40eV との値が得られた．これらは同じ欠陥で，複空孔であると同定された[2]．また，算出した欠陥密度は Si ダイオードが $1.3x10^{17}cm^{-3}$，SiGe ダイオードが $1.1x10^{17}cm^{-3}$ であり，Ge 微量添加による欠陥密度には差異は見られないことが分かった．

4．まとめ

本実験では Ge 微量添加 SiGe ダイオードに及ぼす電子線照射による影響を調べた．Ge 無添加及び Ge 微量添加 SiGe ダイオードに電子線を照射すると，照射量の増大に伴い逆方向電流は増加し，静電容量が減少した．これは，電子線照射により Si 及び SiGe ダイオードの電気的特性が劣化することを示唆している．更に，Ge 微量添加によって耐電子線性が向上すること，また，キャリア密度の D.F.より，照射の影響は Ge 無添加層の基板側に現れないことを明らかにした．また，Si 及び SiGe ダイオードの DLTS スペクトルにより，電子線照射による欠陥導入を空孔の複合体であると同定した．以上のことから，Ge 微量添加することで特性劣化を小さくできることが明らかになった．

参考文献

[1] H. Ohyama *et. al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci., 41 (1994) 2437
[2]H. Ohyama, et. al., "Radiation damage of SiC Schottky diodes by electron irradiation", Mater. in

番　　　号	E－０２	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）Au 誘起固相成長に及ぼす a-Ge 膜厚分布の影響
（副題）

研 究 者 （ 連 名 者 ）	大坪孝総，酒井崇嗣
所　　　　　　　属	電子工学科
指　　導　　教　　員	角田功（准教授）

１．はじめに

次世代の情報化社会には，システム部とディスプレイ部を同一基板上に集積したシートコンピュータの実現が要求される．この要求に対し，ディスプレイの基板材料であるガラス基板上に高品質な半導体薄膜を形成できれば，シートコンピュータが実現できると考えられる[1]．現在システム部に使われる集積回路のプロセスでは，1000 ℃以上もの温度を要する一方，ガラスの軟化温度は 500 ℃程度である．即ち，高性能なシートコンピュータを実現するためには，高品質な半導体薄膜を 500 ℃以下の低温プロセスで形成する技術が不可欠となる．

低温で高品質な半導体薄膜を形成する手法として，触媒金属誘起固相成長(MIC)法が注目を集めている．これは，非晶質半導体薄膜上に蒸着された触媒金属を核として，横方向に結晶化を誘起させる手法である(図 1).

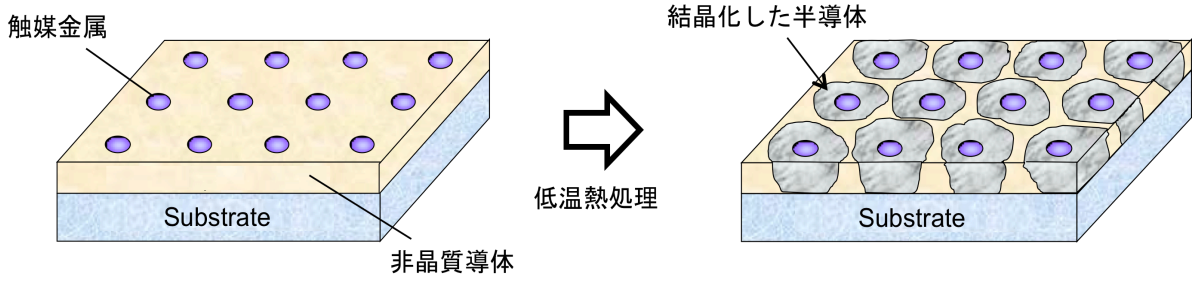


図１　触媒金属誘起固相成長(MIC)法

結晶半導体は非晶質半導体より移動度が高く，デバイスの高性能化が期待できる．そのため，MIC 法は絶縁膜上における非晶質半導体薄膜に対する低温固相成長技術として広く研究されている[1].
Si の MIC 成長については，Ni 触媒を用いたプロセスが活発に研究され，成長モデルが確立しているが，Ge の MIC 成長については，最適な触媒種すら判っていない．今回我々は，Ge の MIC 成長の触媒として Au を選択した．Ge は Si と比べ高価な半導体材料であるため，実用化には SiGe を薄膜として使用する必要がある．そのため，Si，Ge と低温で共晶反応する Au を触媒金属として用いれば全 Ge 組成域で均一成長が可能と推測した．そこで，非晶質 Ge(a-Ge)薄膜の Au 誘起結晶成長を試みているが，今年度，非晶質 Ge 薄膜の成膜に用いるスパッタリング装置を更新した．装置更新に伴い, 成膜した薄膜の膜厚分布性能が大幅に向上しており, 本研究では a-Ge 薄膜の MIC に及ぼす a-Ge 膜厚分布の影響について調べたので報告する．

２．実験方法

まず， SiO_2(酸化膜厚：250 nm) / n-Si 基板をダイヤモンドスクライバーにより 10 mm×10 mm の大きさに切りだした．基板洗浄後，旧・新スパッタリング装置により a-Ge 薄膜(膜厚：100 nm)を成膜し，その上に真空蒸着装置を用いて Au パターン(膜厚：200 nm)を形成した（図 2)．尚，旧・新スパッタリング装置における成膜条件，及び真空蒸着装置の成膜条件を表 1，2，及び表 3 に，Au パターンの模式図を図 3 に示す．これらの試料に，N_2 雰囲気で熱処理(300～500 ℃：30～90 min)を施し固相成長を誘起した．結晶成長領域は走査型電子顕微鏡(SEM)，ノマルスキー干渉顕微鏡及び顕微ラマン分光測定装置により評価を行った．

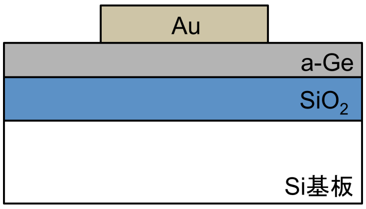


図 2　試料の断面図

表 1　旧・新スパッタリング条件

	旧スパッタリング	新スパッタリング
装置型番	ANELVA SPF-210	HSM-352LSP
ターゲット	Ge	
スパッタ雰囲気	Ar	
スパッタ温度	常温	
スパッタ時間	10min	6min40s
スパッタ電力	450W	50W
基板回転数	不可	20r/min

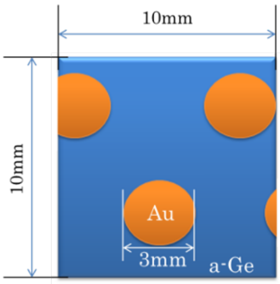


図 3　Au パターン模式図

表 2　真空蒸着条件

装置型番	ULVAC VPC-060
蒸着源	金線(0.8Φx2cm)
蒸着温度	常温
電流	30A
蒸着時間	1min

３．実験結果と考察

旧・新スパッタリング装置を用いて a-Ge 薄膜を成膜した後の a-Ge 膜厚の試料面内分布を SEM により評価した(図 4)．目標膜厚は 100 nm とした．旧スパッタリング装置の場合に比べ，新スパッタリング装置を用いて a-Ge を成膜すると，膜厚分布のムラがないことが分かる．これは新スパッタリング装置では a-Ge 薄膜成膜時に基板を回転することができるためターゲットからはじき出された Ge 原子が均一に堆積したためだと考えられる．本研究では，この a-Ge 薄膜の膜厚分布の違いが Au 誘起結晶成長に及ぼす影響を調査した．

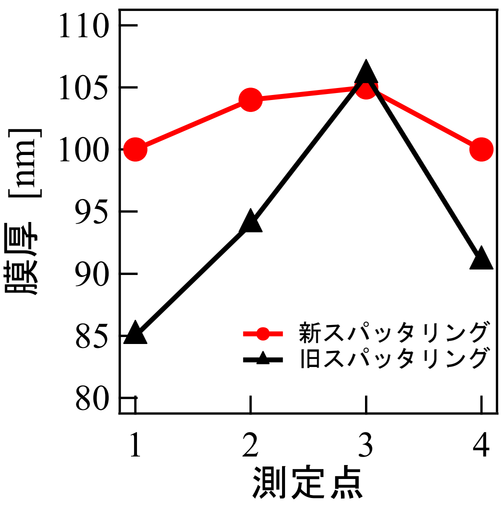


図 4　a-Ge 膜厚分布

まず，図 5 に熱処理前後の旧スパッタリング装置を用い作製した Au/a-Ge/SiO_2 基板構造の熱処理前後の表面 SEM 像とラマンスペクトルを示す．各 SEM 像における中央領域が Au パターンであり，熱処理温度は 300 ℃と 400 ℃，熱処理時間は 90 分である．この結果，熱処理を施すことにより，Au パターン部から放射状に結晶成長が起こっていることがわかる．また，熱処理温度の増大に伴い，結晶成長領域が広がっていることが判明した．そこで，各領域(Au パターン直下部，結晶成長領域部，非晶質領域部)の結晶性を顕微ラマン分光測定を用いて評価したところ，Au パターン直下部，結晶成長領域部において，300 cm^{-1} 付近に Ge-Ge 結合の TO(Transverse Optical)フォノンに起因するピークが観測された．即ち，Au パターン直下部，結晶成長領域部においては，Ge-Ge 結合を主とした結晶相が形成されていることを示唆している．

同様に，新スパッタリング装置を用いて Au/a-Ge/SiO_2 基板構造を作製し，熱処理前後の表面 SEM 像とラマンスペクトルを図 6 に整理した．図 5 同様，各 SEM 像の中央領域が Au パターンであり，熱処理温度は 300 ℃と 400 ℃，熱処理時間は 90 分である．この結果，Au パターン部から放射状に

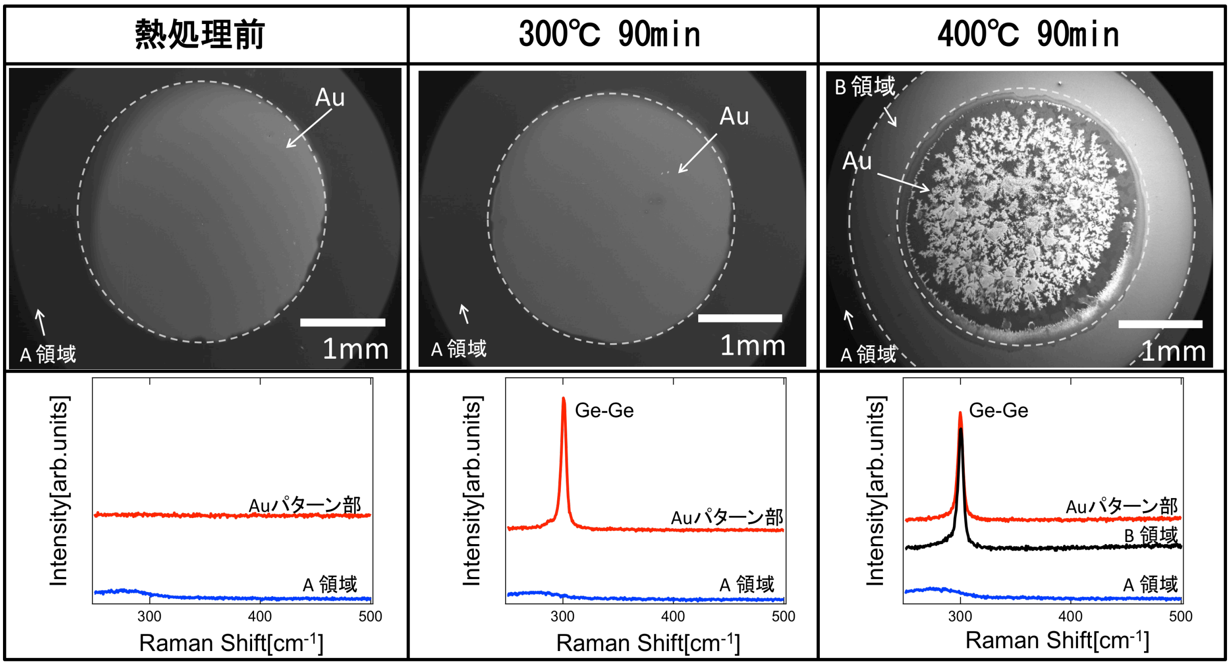


図 5　旧スパッタリングを用いた $Au/a\text{-}Ge/SiO_2$ 基板構造の表面 SEM 像とラマンスペクトル

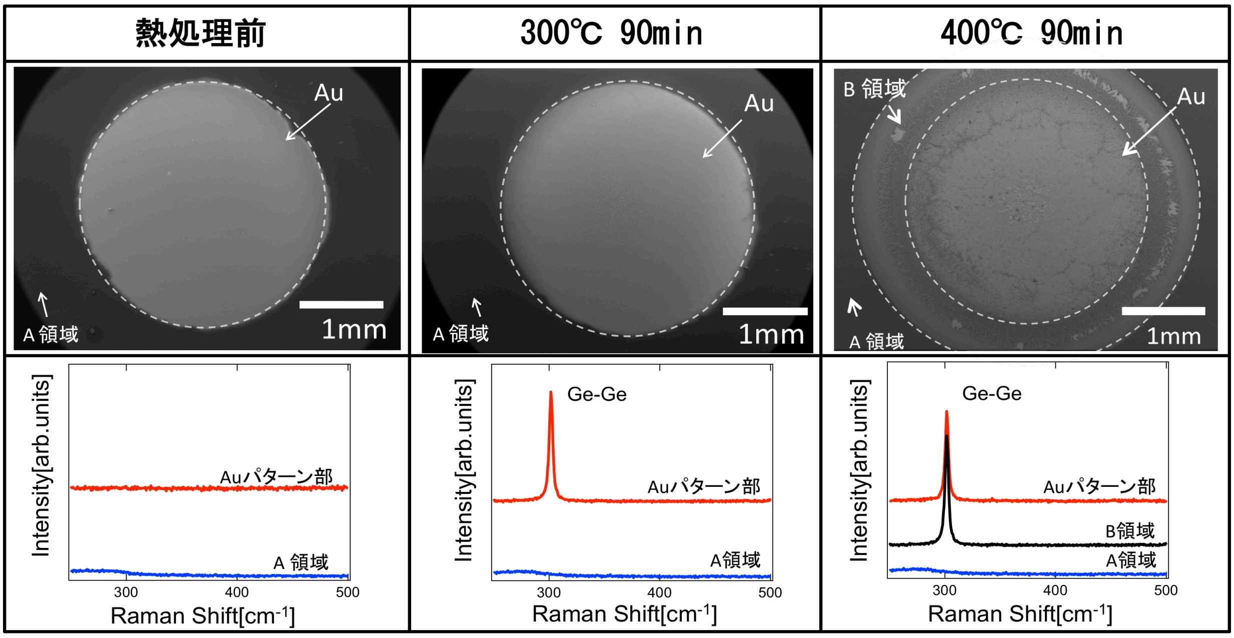
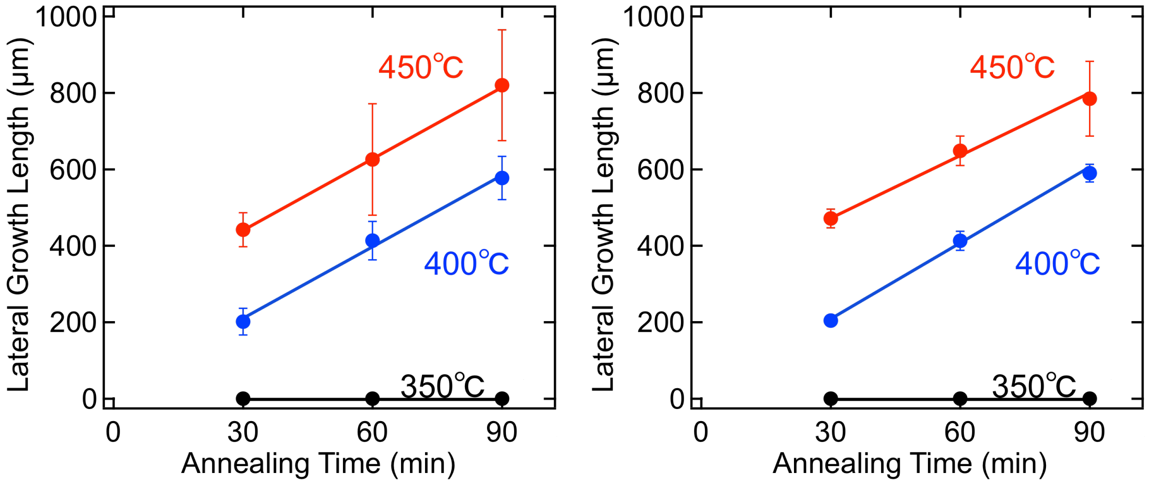


図 6　新スパッタリング装置を用いた $Au/a\text{-}Ge/SiO_2$ 基板構造の表面 SEM 像とラマンスペクトル

結晶成長が起こり，顕微ラマン分光測定の結果から Au パターン直下部，結晶成長領域部において Ge-Ge 結合に起因するピークが観測され，結晶化が進行していることが分かった．この結果は，旧スパッタリング装置で作製，熱処理した結果と一致する．さらに，ノマルスキー干渉顕微鏡より得られた画像から横方向結晶成長距離を算出し，熱処理時間の関数として図 7(a)，(b)に整理した．旧・新スパッタリング装置で作製した $Au/a\text{-}Ge/SiO_2$ 基板構造共に，熱処理時間と熱処理温度の増加に伴い横方向成長距離が伸びていることが分かる．

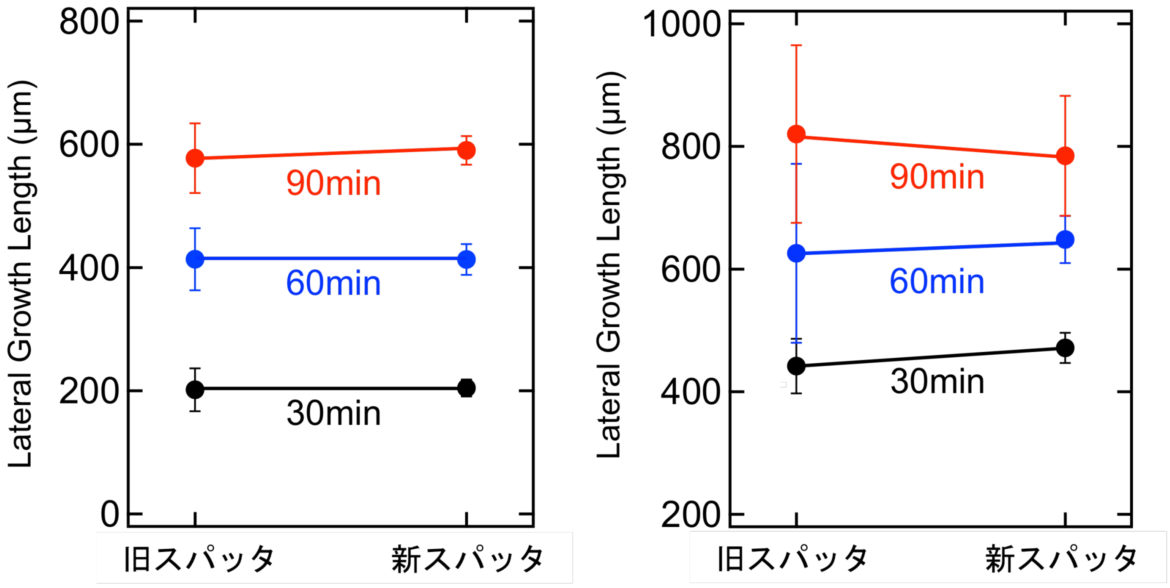
ここで，旧・新スパッタリング装置による Au 誘起結晶成長距離と膜厚分布の影響を詳細に評価するため，各温度における横方向結晶成長距離の分布をエラーバーとして表記し図 8 にまとめた．この結果，旧スパッタリングで作製した試料が，新スパッタリング装置で作製した試料に比べて，横方向成長距離の分布が大きいことが分かる．これより，a-Ge 膜厚分布の違いが横方向成長距離に大きく影響を与えると考えられる．



(a) 旧スパッタリングを用いた
Au/a-Ge/SiO_2 基板構造

(b)新スパッタリングを用いた
Au/a-Ge/SiO_2 基板構造

図 7　横方向成長距離の熱処理時間依存性



(a)熱処理温度 400 ℃　　(b)熱処理温度 450 ℃

図 8　横方向結晶成長距離分布

4．まとめ

本研究では，本校クリーンルームにおいて Au 触媒を用いた MILC 法による a-Ge 薄膜の結晶成長を試みた．その結果，旧・新スパッタリング装置共に Au 触媒を用いることで，300 ℃以上の熱処理で a-Ge 薄膜の低温結晶成長が誘起され，横方向へ成長する様子を確認できた．さらに，旧スパッタリン装置より新スパッタリング装置で作製した試料の方が横方向成長距離にムラがないのが確認できた．これより，a-Ge 膜厚分布の違いは横方向成長距離に影響を与える．以上のことから， a-Ge 膜厚分布が均一になることで Au 誘起固相成長における横方向結晶成長距離の制御が容易となる．

参考文献

[1] 浦岡行治：低温ポリシリコン薄膜トランジスタの開発：システムオンパネルをめざして，CMC 出版，p.236, (2007).

[2]Minoru DOI, Futoshi KATSUKI, Hiroshi KUMAGAI and Makoto TAKAGI: Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 57, No. 1, pp. 30–36 (2007).

番　　　号	Ｅ－０３	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）　　　微細加工技術を用いた３次元積層構造の作製プロセス検討

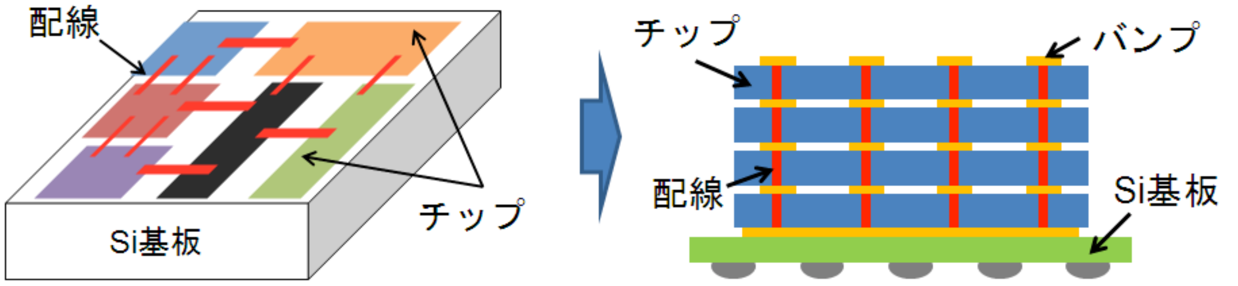
（副題）

研究者（連名者）	中嶋一敬，茂藤健太
所　　　属	電子工学科
指　導　教　員	角田功(准教授)

１．はじめに

現在まで，トランジスタの微細化による LSI(Large Scale Integration)の高性能化・高集積化はスケーリング則に従って進められてきた．しかし，ゲート絶縁膜の薄膜化に伴うゲートリーク電流やリソグラフィによる回路パターンニングの微細化限界，配線遅延の相対的な影響増大などの問題によりトランジスタの微細化限界が近づいている．

そこで，トランジスタの微細化のみならず，別アプローチからの高集積化技術が要求される．その技術のひとつとして，従来の 2 次元平面上に接続された回路ブロックを縦方向に積層し，Si チップを貫通する配線により接続した 3DLSI が注目されている．この技術により，LSI チップの有している機能を損なうことなく，実装面積を小さくすることができる(図 1)．また，従来の技術に比べて配線長を短くできるため，配線遅延の相対的影響を小さくできる．



2DLSI　　　　　　　　　　　　3DLSI

図 1．2DLSI から 3DLSI へ

具体的な実装技術としては，Si チップの表面に微小なバンプを配置し，Si 貫通電極（TSV：Through Silicon Via）と通常の多層配線技術でバンプと回路を接続する技術がある(図 2)．この技術により，小面積の Si での電極同士の接続による LSI チップの小型化，電気的接続による遅延時間の短縮，低消費電力化が可能となる．

しかし，TSV を作りこんだチップに内部応力が発生するというデメリットもある．50 μm～100 μm に薄く研磨され，表面に回路が作製されている Si チップには，常に表面が縮まろうとする内部応力が働き，高温にて TSV 金属として用いられる Cu は膨張する[1]．これらの現象は，回路の配線層を構成する SiO_2 の熱膨張係数(8～12 ppm/℃)や TSV 金属として用いられる Cu の熱膨張係数(18 ppm/℃)が Si の熱膨張係数(3.5 ppm/℃)より大きいことに起因する．

このような問題に対して，従来の TSV 金属よりも熱膨張係数の小さい材料を用いるという解決策が考えられる．ここで，TSV は上段と下段のチップを接続する配線であるため，材料特性として高導電率であることが要求される．そこで，結晶半導体材料の採用による高移動度化，半導体材料への不純物の高濃度ドーピング等の手法により，導電率を向上させる手法が考えられる．

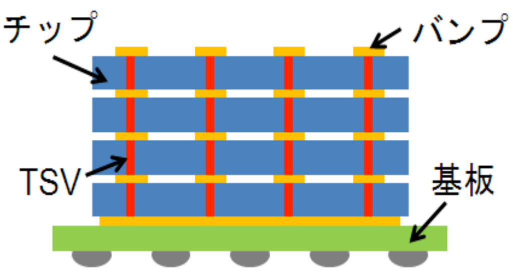


図 2．TSV による 3DLSI 基本構造

半導体材料を結晶化させるには，高温熱処理が必要となる．しかし，高温熱処理を施すと TSV 材料のチップ内部への熱拡散などの問題が生じることから，高

移動度半導体を低温にて形成する必要があり，高移動度半導体材料，例えばGeの金属誘起結晶成長等による低温結晶化技術が注目されている．Geの熱膨張係数(6 ppm/℃)はCuよりもSiとの熱膨張係数差が小さいため，TSVとチップの熱膨張係数差による問題が軽減されることが期待できる．

以上の背景のもと，本研究では高移動度半導体であるGe材料に着目し，Ge材料を用いた3次元積層構造を低温にて作製することを最終目的としている．しかしながら，本研究室において3次元積層構造作製に関わる微細加工プロセスは確立されていない．そこで今回は微細加工技術を用いた3次元積層構造作製プロセス検討を行ったので報告する．

2．実験方法

図3に本研究で作製する積層構造の模式図を示す．SiO_2/Si基板上にAu層を形成し，ビアホール付きのSiO_2層を形成後，Ge層を形成した構造である．本研究では，この構造を実現するため，先ずは各種プロセス(リソグラフィ，成膜)条件の検討を行い，その結果をもとに積層構造の形成を試みた．評価方法としては，光学顕微鏡法，電子顕微鏡法(SEM)，エネルギー分散型X線分析法(EDX)を用いた．

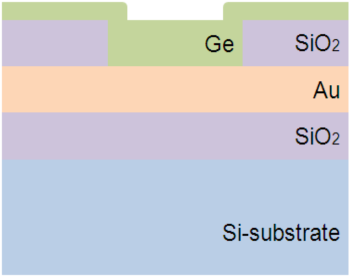


図3．作製する積層構造の模式図

3．実験結果と考察

3－1　各種プロセス条件検討

まず，リソグラフィプロセス検討結果について報告する．リソグラフィは様々な基板上に微細パターンを形成するプロセスである．今回は，Si基板及びSiO_2基板上へのパターンニングを試みた．マスクパターンは正方形のドットパターンを使用し，ドットサイズはそれぞれ80，40，20 μm，ドット間(スペース)は40 μmとした．Si基板上にポジ型レジストを塗布し，リソグラフィプロセスにより形成した微細パターンを光学顕微鏡にて評価した結果(図4左)，全てのドットサイズにおいて，ほぼ設計値通りのドット＆スペースパターンが形成されていることが分かる．一方，Si基板と同じリソグラフィ条件で，SiO_2基板上にドットパターンを形成したところ，ドットサイズが80 μmではパターンが形成できたものの，40，20 μmではパターンが形成されなかった(図4中央)．これはSiO_2表面の親水性に起因すると考えられる．そこで，SiO_2基板表面の疎水化処理のためHMDS(hexamethyldisilazane，ヘキサメチルジシラザン)を塗布した上で，リソグラフィ処理を行い，同様に評価を行なった(図4右)．この結果，Si基板の結果同様，ドットサイズ20 μmまでパターンの形成に成功した．

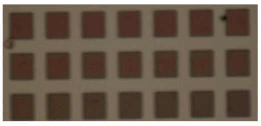
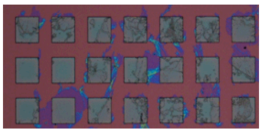
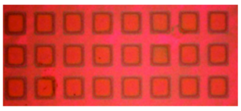
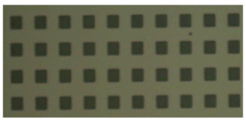
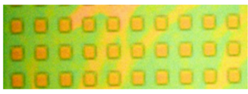
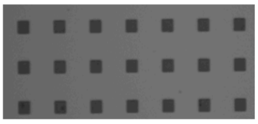
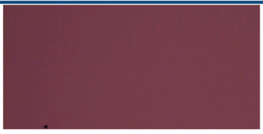
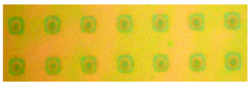
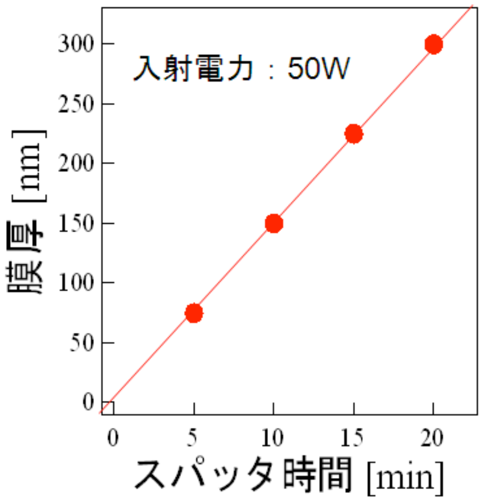
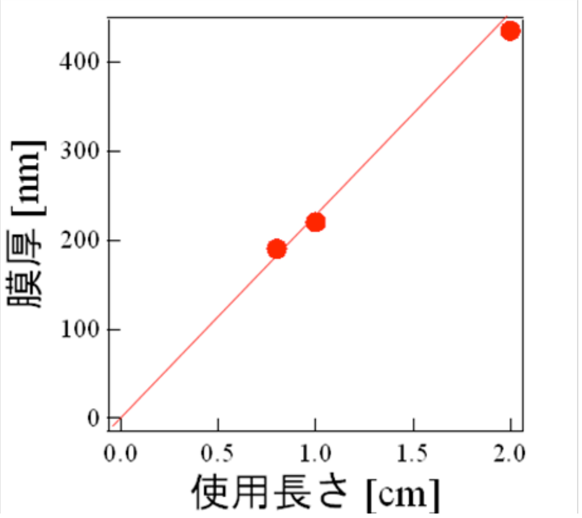
Si基板	SiO_2基板	
HDMS無し		HDMS有り
設計値： Dot / Space = 80 μm / 40 μm	設計値： Dot / Space = 80 μm / 40 μm	設計値： Dot / Space = 80 μm / 40 μm
 測定値[μm] Dot ：78.99 Space：41.01	 測定値[μm] Dot ：78.33 Space：41.67	 測定値[μm] Dot ：77.96 Space：42.04
設計値： Dot / Space = 40 μm / 40 μm	設計値： Dot / Space = 40 μm / 40 μm	設計値： Dot / Space = 40 μm / 40 μm
 測定値[μm] Dot ：36.95 Space：43.05	パターンニング失敗	 測定値[μm] Dot ：37.10 Space：42.90
設計値： Dot / Space = 20 μm / 40 μm	設計値： Dot / Space = 20 μm / 40 μm	設計値： Dot / Space = 20 μm / 40 μm
 測定値[μm] Dot ：17.10 Space：42.90	 パターンニング失敗	 測定値[μm] Dot ：18.65 Space：41.35

図4．ドット＆スペースパターン評価(ポジ型レジスト使用)

図 3 で示した積層構造の作製には，TSV 材料として Ge を用いることを想定している．また，Ge の金属誘起低温結晶化を想定し，TSV の下層に Ge との共晶温度が低い Au を配置している．このような積層構造を作製するためには，Ge，Au 薄膜の膜厚制御が非常に必要となる．そこで， スパッタリング装置を用いた Ge 薄膜の成膜レート，真空蒸着装置を用いた Au 薄膜の成膜レートを算出し図 5 に整理した．その結果，Ge 膜厚はスパッタ時間，Au 膜厚は使用した Au 材料の長さに比例して増加することを明らかにした．



(a)　Ge スパッタ膜



(b) Au 蒸着膜

図 5.　薄膜成膜条件評価

３－２　積層構造試作

前節の結果をもとに，図 6 のプロセスフローにより図 3 の積層構造実現を試みた．まず，SiO_2 基板上に Au 蒸着膜を 200 nm 成膜し，CVD 法により SiO_2 薄膜を 500 nm 成膜した．その後，HMDS 処理後ポジ型レジストによるリソグラフィを行ない，エッチング用マスクとして使用した．SiO_2 薄膜のドライエッチング，エッチングマスク用レジスト剥離後，スパッタリングにより Ge 薄膜を 100 nm 成膜した．

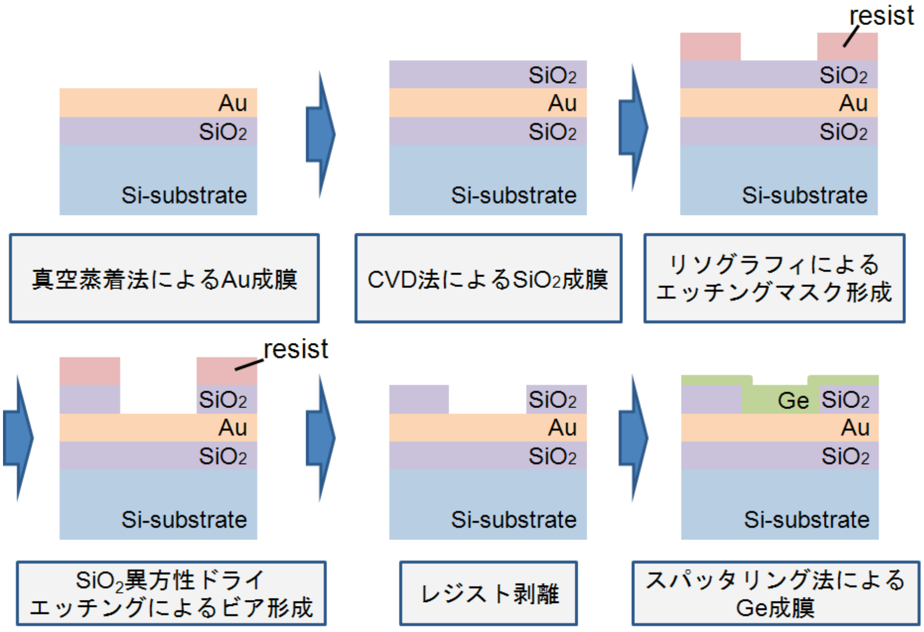


図 6.　プロセスフロー

試作した積層構造の断面 SEM 像，EDX による元素マッピング分析結果を図 7 に示す．この結果より，Au 蒸着膜上にビアホール付きの SiO_2 薄膜が形成されており，薄膜の剥離も見られなかった．さらに，最上層の Ge 薄膜も，SiO_2 薄膜上，並びにビア底の Au 薄膜上にもほぼ一様に形成されており，本研究の目的であった積層構造の試作に成功したと言える．しかしながら，ビア側壁部を拡大して観察したところ(図 8)，ビア側壁部分に Ge 薄膜が厚く(275nm)形成されていることが分かった．今回，Au 薄膜直上の SiO_2 薄膜はドライエッチング法で加工しているが，ビア形成エッチングの際，ビアに若干テーパー(傾斜角：69.8°)が出来てしまい，その影響により側壁部分の Ge 膜厚が厚く形成されたと考えられる．

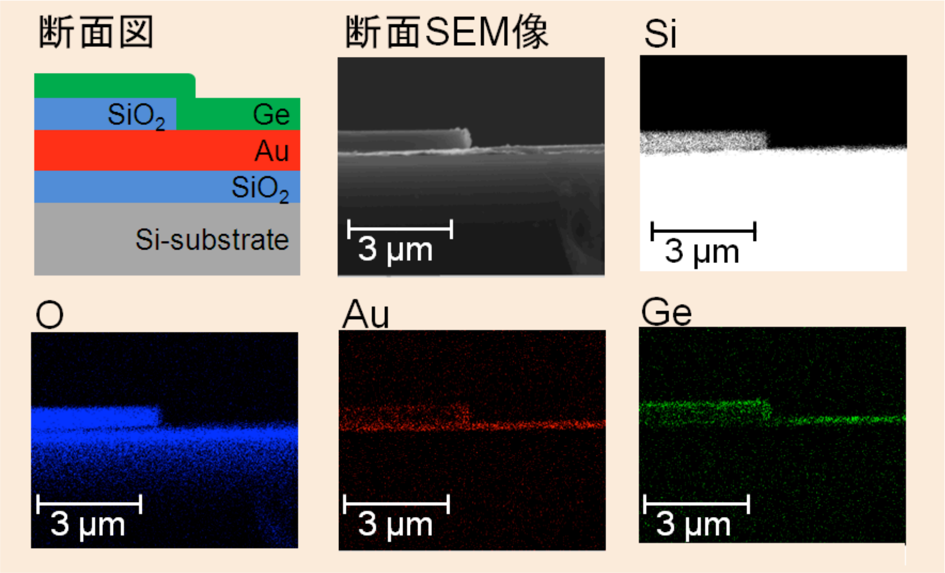


図 7．試作した積層構造の断面分析

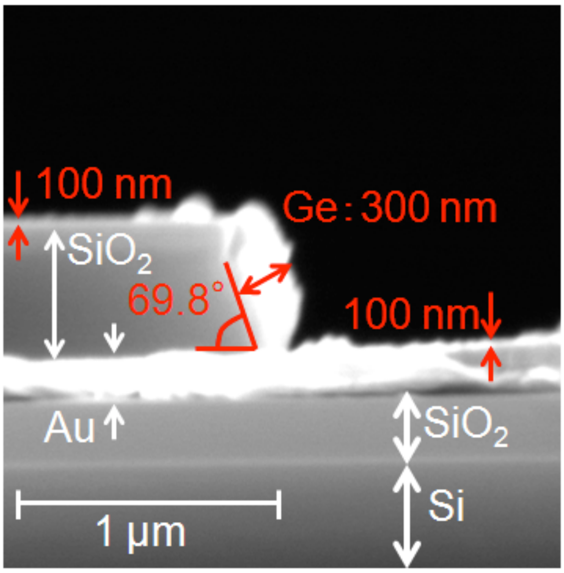


図 8．ビア側壁部断面 SEM 像

４．まとめ

本研究では，本校クリーンルームにて微細加工技術を用いた 3 次元積層構造作製プロセス検討を行なった．積層構造試作に先立ち，各種プロセス条件の検討を行なった．リソグラフィプロセスにおいては，Si，SiO_2 基板共に最小 20 μm サイズのパターン形成に成功し，スパッタリング・真空蒸着プロセスにおいては，スパッタ時間・材料の使用長さにそれぞれ比例して，膜厚が増加する事を明らかにした．得られた条件をもとに，積層構造を試作したところ，本研究の目的であった積層構造の試作に成功することができた．しかし，ビア形成エッチングの際，ビアに若干テーパー(傾斜角：69.8°)が出来てしまい，ビア側壁部分に Ge 薄膜が厚く形成されるとの現象に遭遇した．この状況では，ビア埋め込みの際，ビア内部にボイド(空隙)が形成されてしまう懸念があり，今後，エッチング・成膜プロセスの最適化が必要である．

参考文献

[1] 傳田精一：半導体の 3 次元実装技術，p123，CQ 出版社，(2011).

番　　号	E-05	発表年月日	平成２５年２月２２日

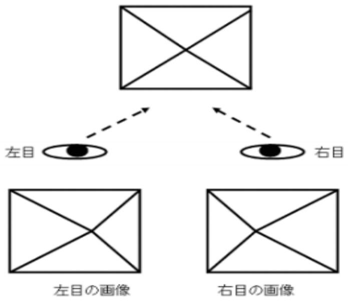
（題名）　裸眼３Dディスプレイを用いたリアルタイムモニタリングシステムの開発
（副題）

研究者（連名者）	中原　直人
所　属	電子工学科
指導教員	本木　実　（准教授）

１．研究背景・目的

近年,私たちの身の回りではいろいろなものに3Dの技術が用いられているテレビやゲーム機,携帯電話など様々なものに利用されている.そんな3Dの技術に興味をもち,私たちの研究室にある裸眼ディスプレイを使ってなにかできないかと考えた.また,本校では毎年オープンキャンパスが行われているが,そこに3Dのブースがあれば来場者の興味を引くことができるのではないかとおもい本研究に至った.今回の研究の目的として,入力画像から裸眼ディスプレイ用画像に変換してディスプレイに表示できるようにすることを目的とする.

２．立体視について



(1)立体視の原理

人間が景色や物体を見て立体感を得られるのは,単眼視による遠近感と両眼視による立体視を組み合わせることで実現している.単眼視による遠近　感は,物体の両端から目までの二直線の角度の大小によるもの（大きく見える物体が近く,小さく見える物体は遠い）と,遠くの物体は近くの物体に遮られて見えなくなること,物体がハッキリ見えるか否か(ハッキリ見える物体は近く,霞んで見える物体は遠い）等,経験や学習により得られる.これに対し両眼視では,遠近感とともに立体的な感覚が得られる.人間　の両方の眼の中心から中心までは約 6～7cm 離れている.これだけ離れていると,左右それぞれの眼で見えるものの形等は微妙に違ってくる.この差を視差と言いう.左右の目に映った微妙に違う画像が脳で処理されて立体感を得ている.立体視は両眼視のこの機能を利用して,同じ景色や物体を違う位置から写真撮影した対の写真（画像）を立体的に見る手法.

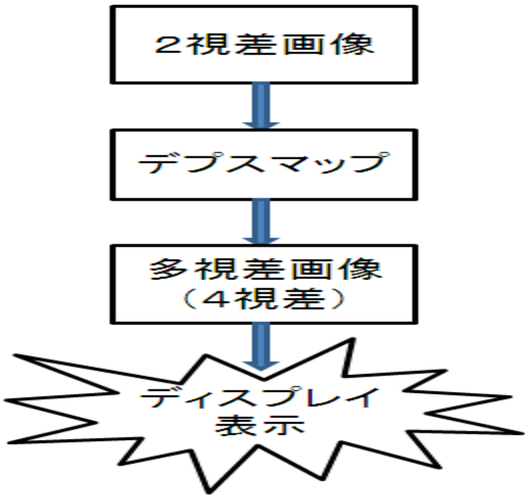
３．裸眼3Dディスプレイ

	Pixcel1			Pixcel2			Pixcel3			
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	･･･
line1	1	2	3	4	1	3	2	3	4	･･･
line2	2	4	1	3	2	4	1	3	2	･･･
line3	3	1	3	2	4	1	2	4	3	･･･
⋮	⋮			⋮			⋮			

図 2 画素分配の例

裸眼立体視にはレンチキュラレンズ方式と視差バリア方式がある.今回使用した裸眼ディスプレイは視差バリア(Parallax Barrier)方式で4視差となっている. この方式では左右の目からの視線に対して,左目からの視線には左目用のピクセルだけ,右目からの視線には右目用のピクセルだけが見えるように最適化したスリットを,映像パネルの全面側に配置している. そうすることで,左右の目それぞれに対応した映像を見せ,立体像を知覚させている. 画面には（株）VMJ より頂いた画素分配情報に基づいて, 4 つの画像を合成して表示する.画素分配情報とは図２のように赤で囲まれた Pixcel1 に,左からカメラを並べたときに, 何番目のカメラの, RGB のどの画素を使うかを定めた規格である.

4．全体の流れ



・２視差画像を入力

・デプスマップをつくる

・これらを用いて多視差画像（４視差）
をつくる

・ディスプレイに表示させるため，視差バリア用画像に変換

・これを裸眼３Ｄディスプレイに表示

5．デプスマップ

デプスマップとは奥行きデータを画像の濃淡で表現したもので手前に位置するものを白く，奥にあるものを黒くすることで元の画像の距離を表すことができるものである．この奥行きのデータ画像を使って多視差変換を行う．

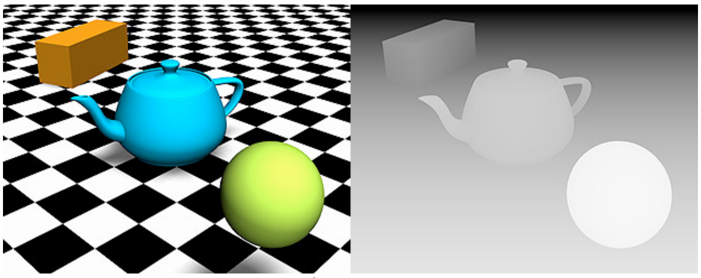


図　３デプスマップの例

6．多視差変換

まず，入力されたステレオ映像の画像をもとに奥行きを表現するデプスをもとめる．これは先ほど説明したデプスマップを利用する．このデプスをもとに多視差画像を生成する．今回の研究では４視差のディスプレイを使用しているので４視差の多視差画像をつくる．この画像から視差バリア方式用の画像をつくりディスプレイに表示させた．

7．結果・考察

今回は，視差バリア方式の裸眼３Ｄディスプレイにつくった画像を表示させた．しかし完全な立体視はできなかった．少しの立体感はでたものの，まだまだ完成にはいたらなかった．考えられる要因としては．立体視するための正確な位置ではないこと，パソコンの処理スピードが遅いこと，画像生成のためのデプスマップや多視差変換を行う際に正確な対応点や画像の情報がとれていないこと，などが挙げられる．その点を改善していけば立体視も可能になるのではないかと考えられる．

8．参考文献

Gary Bradski　Adrian Kaehler　“OpenCV コンピュータライブラリを使った画像処理・認識”
株式会社オーム社　2009 年　８月 24 日

番　　号	E-06	発表年月日	平成２５年２月２２日

（題名）　英語多読支援のための CGI アプリの作成

（副題）

研究者（連名者）	松尾　隆嗣
所　属	電子工学科
指導教員	本木　実

1. 研究背景、目的

近年，国際化社会の推進により英語学習が重要になっている．しかし，Web 上での英語学習支援についての Web アプリケーションを探してみても，翻訳などの機能のものしかなく，学習支援のためといえるようなアプリケーションは少ない．また，高専の卒業生は英語が苦手であるとよくいわれている．そこで英語学習支援のための Web アプリケーションを作成することにした．

2. スラッシュリーディングについて

英語学習支援の内容としてスラッシュリーディングを用いる．スラッシュリーディングとは英文章の意味の区切りごとにスラッシュをいれ，英文を単語の単位ではなく意味上の固まりで読んでいく学習法である．以下の文はその例である．

・原文　I try to study English and ASL little by little, and I remember about you whenever I study it and I want to meet you.
・/ 付き文章　I try to study English and ASL little by little, / and I remember about you / whenever I study it and I want to meet you. //

3.システム概要

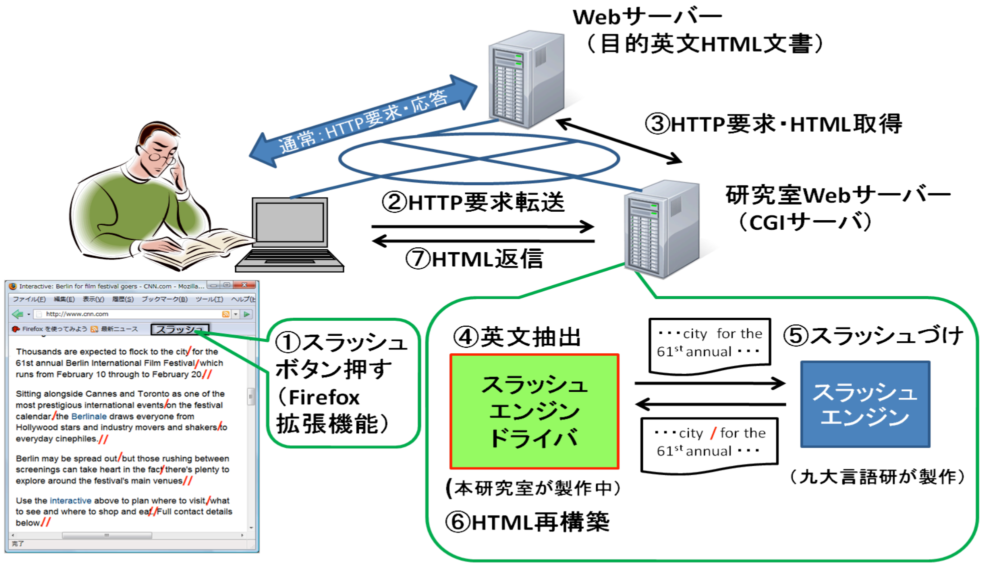


図 1．システムの概要図

システムの概要は図 1 のようになっている．おおまかに説明すると①Firefox 拡張機能により追加されたスラッシュボタンを押すと，②ブラウザから研究室内の CGI サーバーにスラッシュ付けしたい英文の HTML スクリプトが転送され，③Web サーバーへ HTTP 要求を行い HTML を取得する．すると，研究室の CGI サーバー内で④スラッシュエンジンドライバを利用して HTML スクリプトから英文章が抽出，⑤抽出された文章はスラッシュエンジンによってスラッシュを挿入した後に出力される．⑥出力された文章はスラッシュエンジンドライバで元の HTML スクリプト共に再構築され，⑦サーバーを介してブラウザ上に再表示される．

4. 不具合解析

スラッシュエンジンドライバにはスラッシュ挿入後の文章に元の文章にないコンマが付いてしまうという不具合があったためその修正をした．スラッシュエンジンドライバではスラッシュ付けのためには各タグを解析し一つ一つの文に番号を与えて分け，実際にスラッシュ付けを行うスラッシュエンジンに英文を抽出する．スラッシュエンジンでは文に与えられた番号などを使用しながら実際にスラッシュをつける．このときに各タグで与える番号を初期化してしまっていたため，最初の初期化(図 2 中①)だけを残して，以降のもの(図 2 中②)を削除した．その結果，不具合を修正することができた．

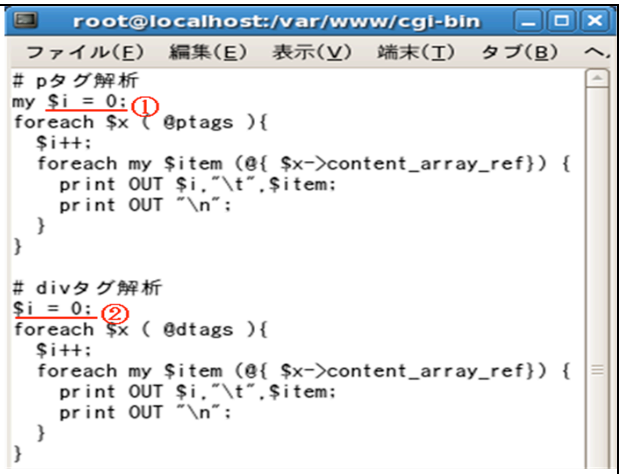


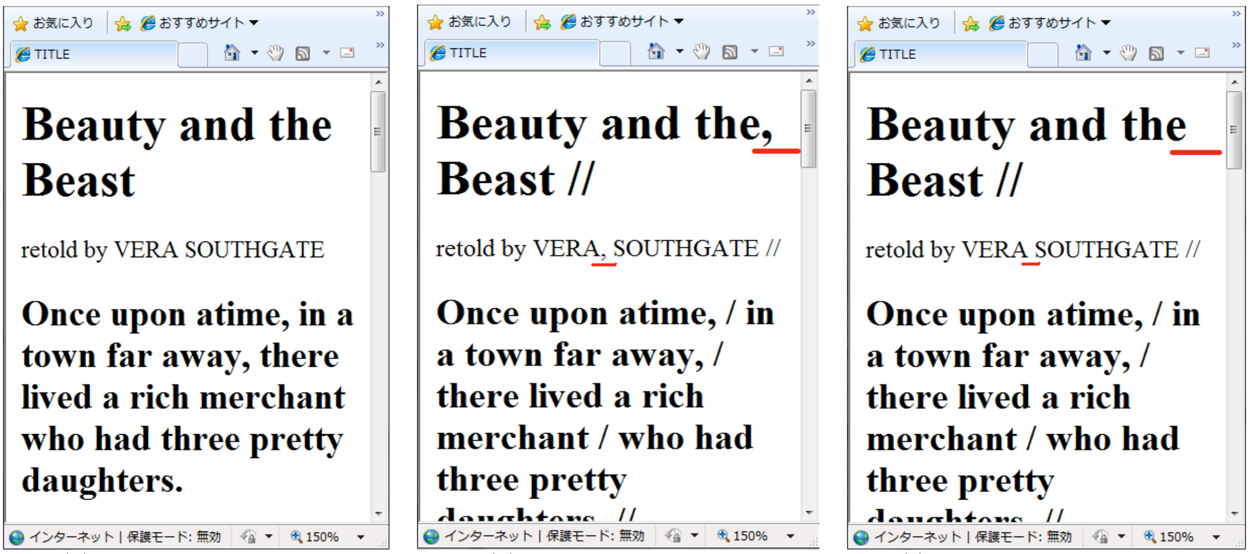
図 2．タグ解析部(一部のみ抜粋)

5. タグに関するバージョンアップ

英文を抽出するためには Web ページを構成するタグをすべて解析できる必要がある．そこで HTML ページの構造を理解し，一般的に使用されるタグ(p タグ，div タグ，h1~h3 タグ，font タグ，blink タグ，del タグ，blockquote タグ，q タグ，td タグ，th タグ，caption タグ，li タグ，dt タグ，dd タグ)について解析が行えるようにした．

6. 結果

研究室内の Windows クライアントパソコンのブラウザから修正前のプログラムおよび，修正後のプログラムでドライバを起動した結果を図 3 に示す．



(a) スラッシュ挿入前　(b) 不具合ありの結果　(c) 不具合修正後の結果

図 3．不具合修正による実行結果の比較（下線は変化が分かりやすいようにつけたもの）

7. まとめ

昨年までのスラッシュエンジンドライバのプログラムで発生した不具合を修正し，タグなどについてバージョンアップを試みた．結果として不具合の修正や単純なタグの追加はできた．しかしタグについてはネストのあるものやプログラムの改良にかかわるものは対応させることができなかった．また，Fierfox の拡張機能を用いたスラッシュボタンの製作や，プログラムの速度向上など実用に至るためには問題点が多く残っている．

参考文献

［1］中島能和，飛田伸一郎，”CentOS 徹底入門　第 2 版”，翔泳社，2008 年．

番　号	E-07	発表年月日	平成２５年２月２２日

（題名）　Windows Sever 2012 を用いた　研究室内のサーバ構築

（副題）

研究者（連名者）	沖田　龍紀
所　属	電子工学科
指導教員	本木　実（准教授）

１．目的

研究室内にファイルサーバを構成することによって年々増えていった先輩方の残したデータ等をわかりやすく整理して，誤って消去してしまう事を防ぐ，また欲しいデータを欲しいときに引き出せるようにする．さらに Active Directory を利用することでユーザーアカウント及びファイル等をサーバにて一括で管理できる．これは年々pc へログインするとき増えていってしまったアカウントを管理することができる．またその際にログインパスワードを設定するのでセキュリティ面においても強化することができる．

２．サーバとは

サーバというのはクライアントに機能を提供するものであり，種類も様々でファイルサーバ，WEB サーバ，アプリケーションサーバなど他にも様々あるが今回は主にファイルサーバを利用している．

３．開発環境（virtual box，Windows sever 2012 ）

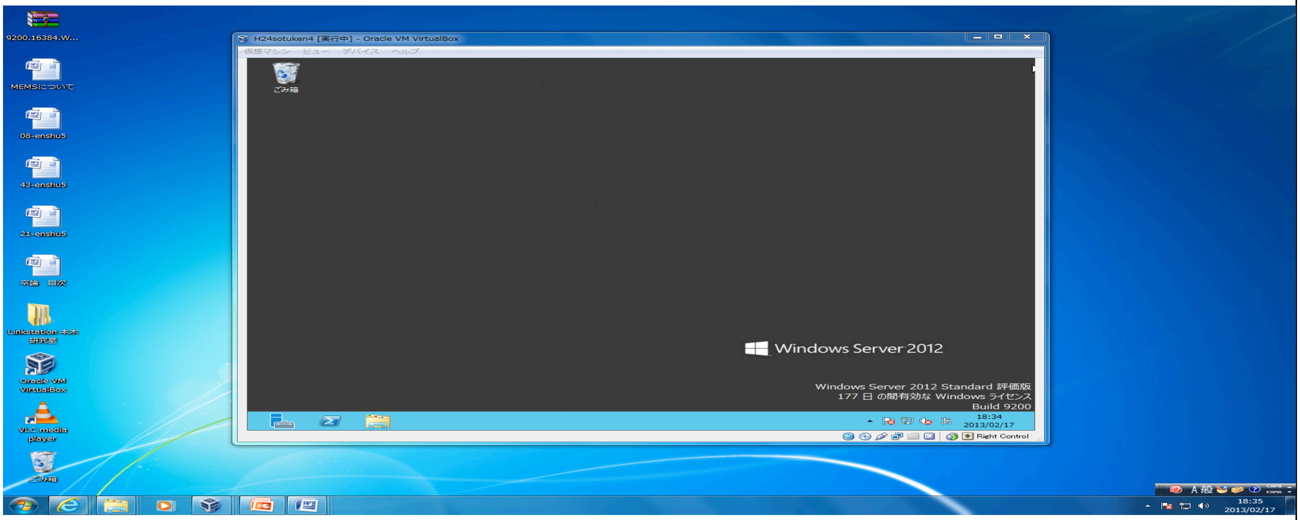


図１仮想化の様子

今回はサーバとして Windows sever 2012(評価版)を用いた．アプリケーションとして Virtual Box をインストールして仮想化を行った．Virtual Box は　仮想上に OS をインストールすることによりサーバを構築することができる．仮想環境に OS をインストールすると図１のように物理マシンのデスクトップ上に仮想 OS のデスクトップ画面がくるような形となる．

Windows sever は CUI 版とマウス操作によって操作を行う GUI 版があり，今回は GUI 版をインストールした．GUI の利点は，文字だけでなくアイコンなどの絵も表示できて操作できる対象物が明確な点や，マウスで比較的簡単に操作できる点にあり，コンピュータ内の状態や様々な情報を分かり易く，即座に操作結果が反映されることが作成の段階で使いやすいと考えた．

4．ファイルサーバの構築

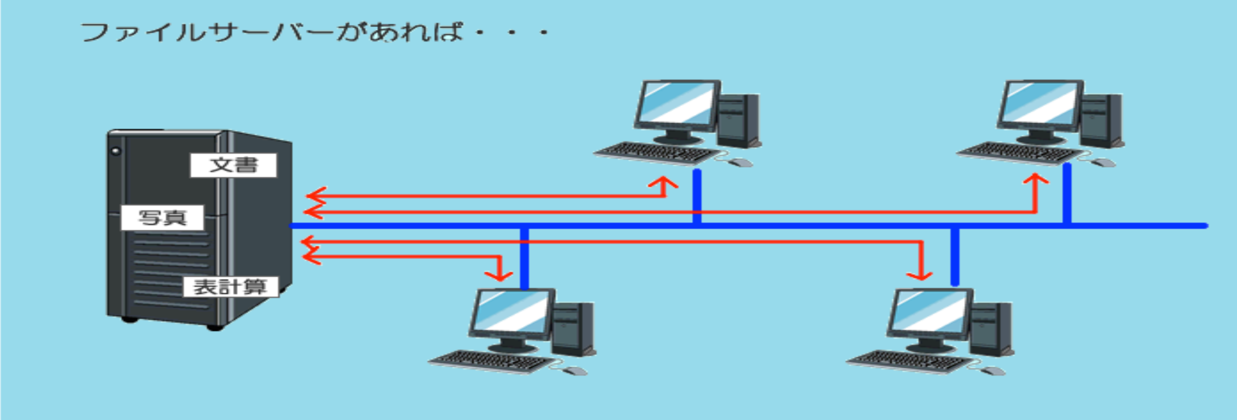
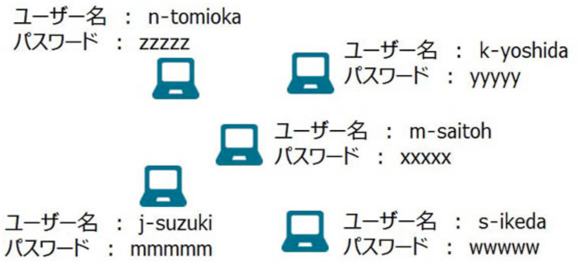


図２　ファイルサーバの構成

自身の管理している記憶装置をネットワーク上の他のコンピュータと共有，外部から利用できるようにする（今回はローカルエリアである）．ファイルサーバ上にあるファイルは(許可されていれば)誰でも他のコンピュータから読みこんだり書きこんだりできるためデータの一括管理が可能になる．ファイルサーバの導入により　コンピュータ間でのファイル移動がしやすくなる．他人が途中まで編集したデータにその場で手を加えて完成させるといったことも可能になる．今回はこのファイルサーバの構築をおこなった．

5．Active Directory について



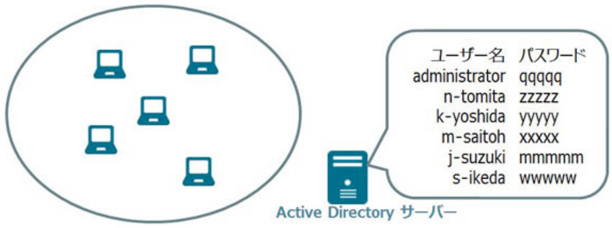


図３　独立したパソコン　　　　図４　Active Directory による管理

年々研究室の PC のログイン画面には先輩の名前でアカウトが増えていくがパスワードがわからなかったりしたりする，そこで Active Directory を用いれば図３から図４のようにサーバでユーザーとパソコンを一括管理できる．Active　Directory 内ならどのパソコンからでも自分のアカウントでログインでき，設定次第ではどのパソコンからログインしても，デスクトップのアイコンも同じ状態で使用できる．これによって卒研室の開発環境の向上にもつながる．今回はこの Active Directory を導入した．

6．結果　考察

今回は仮想上に Windows sever 2012 をインストールし，ファイルサーバを構築することができた．また仮想環境上で実際に運用することができた．サーバ側で登録したユーザー名，パスワードでなければ共有フォルダは利用する事はできない事も確認できセキュリティ面も確認する事が出来た．

Active Directory によりドメインを構成する事にも成功した．ドメインを構成する事によりユーザー管理やファイルサーバへのアクセスがより簡単化されることが確認できた．

しかしこれらの結果は仮想環境上でのテスト運用であり，実際にサーバを研究室で運用する事ができなかった．しかし，仮想環境上で成功した事は研究室内でサーバを構築していく事も可能であると考えられる．

7．参考文献

[1]　天野　司，ひと目でわかる　Windows sever 2012　，日経 BP 社，2012 年．
[2]　甲田章子/竹島友理/田島 静，Windows sever　Active Directory，翔泳社，2008 年．

番　　　号	E-08	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）　　　　　Arduinoを用いたラジコンカーの自動制御

（副題）

研究者（連名者）	西山　慧
所　　　属	電子工学科
指　導　教　員	本木　実　（准教授）

１．　研究の背景・目的

自動車とは，高速で人や物を運搬することができる乗り物である．近年では，自動車の安全性をさらに高める取り組みとして，障害物が近づくと自動でブレーキをかける SUBARU の「EyeSight(アイサイト)」が例としてあげられる．私自身自動車が好きで，この仕組みについて興味があったので，実際にそのシステムを自分で構想し作成，実験することで理解を深めようと考えた．

ここでの目的はラジコンカーに次の２つの機能を付加することとする．

・障害物の探知機能

・自動停止機能

２．　原理及び開発

・Arduinoについて

Arduino(図 1)とは，AVR マイコン・I/O ポートを備えた基板・C 言語風の Arduino 言語による統合開発環境で構成された１つのシステムのこと.Bluetooth モジュールやイーサネットシールド, wi-fi シールド，赤外線センサ，温度センサ，超音波距離センサなど多様なセンサからのインプット情報をもとに，モータを動かす，音声を出力するなど，様々なアウトプットが可能となっている．

今回は Arduino(型番 uno R3)の互換機(図 2)を作成し，AVR マイコンに作成したプログラムを書き込み，超音波センサからの情報をもとにこの互換機に制御させた．

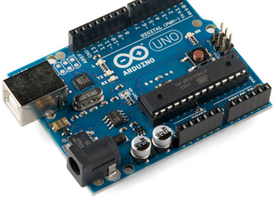


図１　Arduino

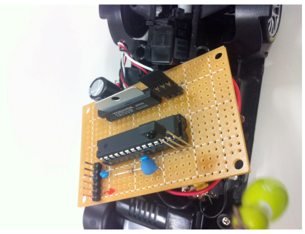


図２　今回作成した互換機

・超音波センサについて

超音波センサ(図 3 は)，送波器で超音波を対象物に向け発信し，その反射波を受波器で受信することで，対象物の有無，対象物までの距離を検出するセンサのこと．ここでは障害物の検知，障害物までの距離を測定など，外部情報の取り込みに使用した．

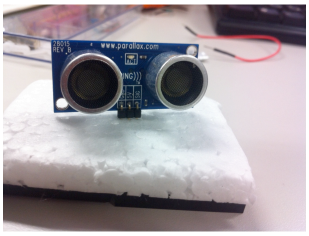


図３　今回使用した超音波センサ(PARALLAX 製　型番 PING)

・構成

①元となるラジコン(DIASAWTOYS 製　1：24　RC　Car　Model)を用意する.

②送信機用・受信機用として Arduino 互換機(1)と Arduino 互換機(2)を用意する.

③Arduino 互換機(1)には，モータドライバ(モータに流す電流量，方向，タイミングなどを制御するもの),赤外線受信機，サーボモータ，DC モータ，,超音波センサなどを取り付ける.

④Arduino 互換機(2)には赤外線送信機，操作レバーを取り付ける.

・動作の流れ

①送信機でラジコンカーを操作する.

②ラジコンカー側では,前方に障害物がないか超音波センサで確認しながら走行する.

③もし，前方に障害物があれば，ラジコンカーから 15cm 以内に障害物が近付いた時点でブレーキをかける.

④赤外線通信がなんらかの影響で途絶えたとき走行を中止する.

3.　結果・考察

今回作成したラジコンカー(図４)と送信機(図５)を以下に示す.

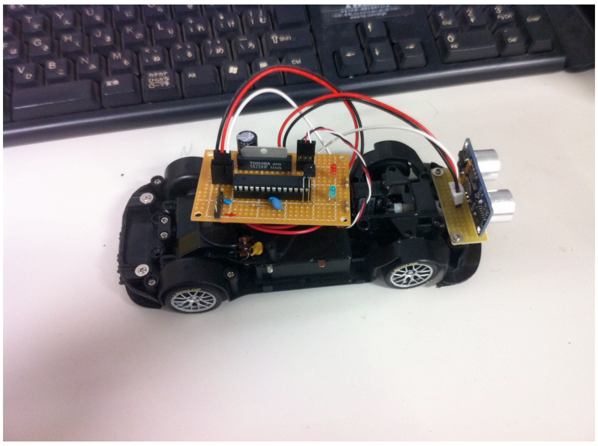


図４　ラジコンカー

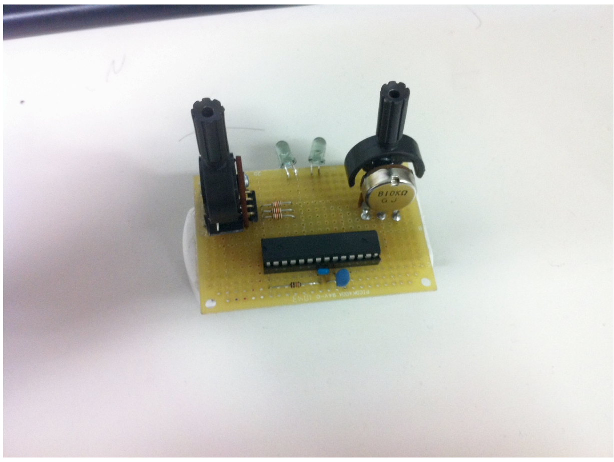


図５　送信機(リモコン)

前方に障害物を置いたとき，距離が１５ｃｍ以内に障害物が近付いた場合，ブレーキをかけて止まった．しかし，障害物までの距離が０の時と，前方に障害物がない時の動作が同じとなってしまった．考えられる原因として，超音波センサが検知できる範囲よりも外に障害物があった場合，マイコン側では障害物が距離 0 のところにあると認識してしまったためだと思われる.

4.　まとめ

今回は，Arduino を用いて障害物への衝突を回避するシステムを構成した．実験では，障害物に衝突する前にラジコンカーを停止させることができた．しかし，結果でも述べたように，障害物との距離が０のときと，前方に障害物がない時では，同じ動作をしてしまった.

今後はセンサの数を増やす，カメラからの認識でも動作を選択するなどして改善をしたい.

5.　参考文献

[１]Massimo Banzi，Arduino をはじめよう，オライリー・ジャパン，2009.
[２]小林茂，PrototypingLab，オライリー・ジャパン，2010.

番　　　号	E－09	発表年月日	平成２５年２月２２日

（題名）　非乗算型パルスニューロンモデルを用いた文字認識システムの開発

（副題）

研究者（連名者）	八浪　悟士
所　　　属	電子工学科
指　導　教　員	本木　実（准教授）

1. 目的 ・背景

ニューラルネットはパターン認識やデータマイニングを始め，様々な分野に応用されている．ニューラルネットを電子製品に搭載する場合ソフトフェア上では並列処理が順次処理に置き換えられてしまう．そのため高速化にはハードウェア化が必要である．その方法として，０，１の信号入力によってパターンを認識する方法があるが，今回は FPGA への実装を狙い，パルス密度変調方式の 1 つである，パルスニューロンモデルを用い画像認識システムを作成する事を目的とする．

2. ニューラルネット

2.1 ニューロンモデル・ニューラルネットとは.

ニューラルネットとは人間の脳の神経回路の仕組みを模したモデルである．ニューロンモデルとは，人間の脳細胞(ニューロン)を模したものである．ニューロンモデルを複数個結合することでネットワークを形成でき，ニューロンモデルを階層的に結合させたものを階層型ニューラルネットワークと呼び，前階層の出力を次階層の入力とし，結合重みを通して結合している．本研究では 3 層階層型ニューラルネットワークモデルを用いる．

2.2 パルスニューロンモデルとは.

パルスニューロンモデルは，一般的なニューロンモデルの入出力信号がアナログ値であるのに対しニューロンの入出力信号をパルス頻度に変更したものである．

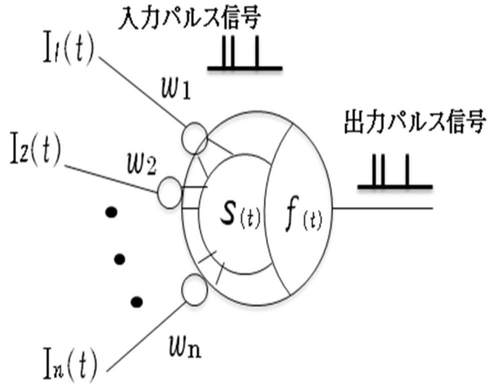


図１パルスニューロンモデル

3. 設計中画像認識システム

本研究で設計した画像認識システムでは，まず顔画像データから特徴抽出を行いこれを学習セットとして，ニューラルネットワークに学習させる．その後，ビデオカメラから画像を読み込みパルス信号に変換しパターン認識させる．パターン認識の結果を FPGA ボードの LED に表示する．図 2 にシステム概要図を示す．設計仕様は以下の通りである．

3.1 システム設計仕様

- ビデオカメラ　GR-DVA22　：Victor 社
- FPGA ボード　DE2-70　：Altera 社

3.2 回路設計仕様

- 設計ツール　QuartusⅡ 9.0sp2 Web Edition ：Altera 社
- 設計言語(ハードウェア記述言語)
  - Verilog HDL：最上位モジュール，前処理部，特徴抽出部，パルス化モジュール
  - VHDL　：ニューロ識別器
- 研究制約　FPGA (CycloneⅡ 2C70) のロジックエレメント数　：68416

3.3 ニューラルネットワークの設計仕様

- 入力層：４９・中間層：3・出力層：4・演算の種類：固定小数点演算
- データ長:符号付 20 ビット　（上位 5 ビット：　符号を含む整数を表現 ／ 下位 15 ビット：　小数点以下を表現）
- データ範囲：[16 ，－16]
- 入出力信号の範囲：[0.0, 1.0]
- 重みの範囲：[16 ，－16]

+

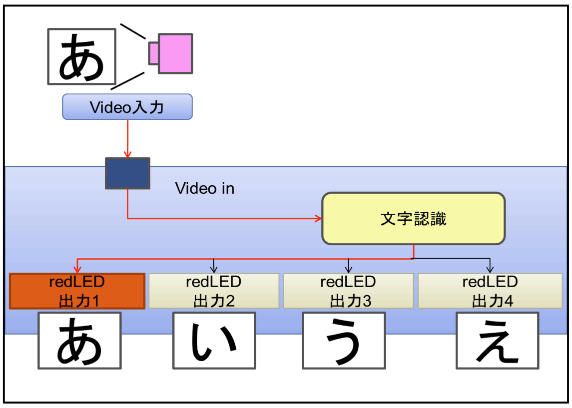
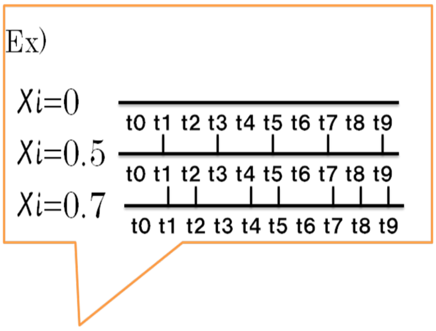
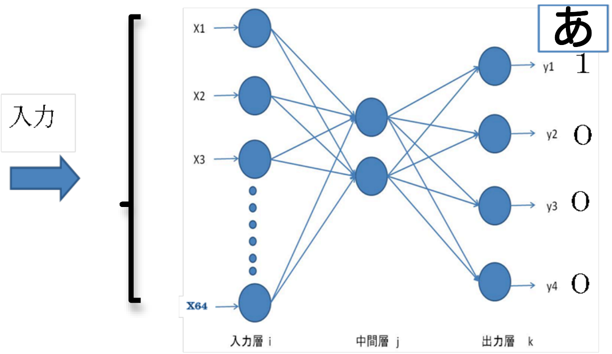


図２．　設計した認識システム概要



4．特徴抽出部とニューロ識別器

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16
X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24
X25	X26	X27	X28	X29	X30	X31	X32
X33	X34	X35	X36	X37	X38	X39	X40
X41	X42	X43	X44	X45	X46	X47	X48
X49	X50	X51	X52	X53	X54	X55	X56
X57	X58	X59	X60	X61	X62	X63	X64

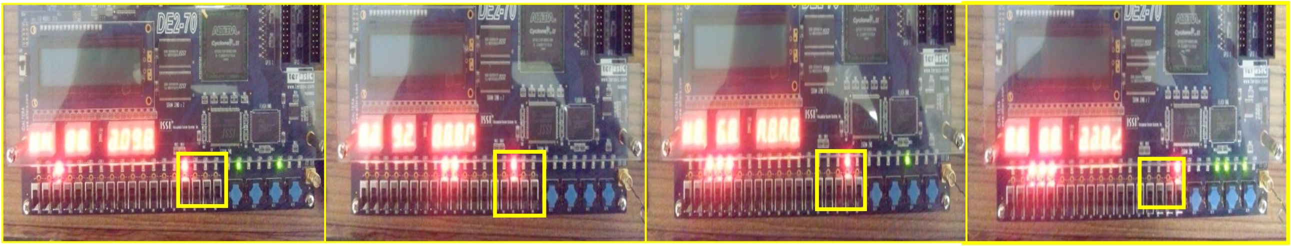


(a)ニューロンの対応　(b)ニューラルネットワークモデル

図３．　ニューラルネットワークの構成

特徴抽出は 64 分割のマスの中心のドットを抽出し，パルス頻度化する．図 3(b)は本研究で用いるニューラルネットワークモデルである．入力層 i を 49 個，中間層 j を 3 個，出力層 k を 4 個とした．抽出したパルス信号をニューラルネットワークの入力として使用する．

5．実行結果



(a)学習パターン‘あ’　(b)学習パターン‘い’　(c)学習パターン‘う’　(d)学習パターン‘え’

図４．　４つのパターンの実行結果

6．まとめ

・本研究で，ニューラルネットワークについての知識を深めることができた．
・文字認識システムを製作することができた．
・４パターンを正確に認識することができた．
・今後このシステムを応用し，顔画像認識システムの製作をめざす．

7．参考文献

・細井勇佑“非乗算型パルスニューロンモデルのハードウェア実装に関する研究”
平成 23 年度,熊本高専専攻科特別研究論文
・小崎洋平“パルスニューロデバイスを用いた文字認識システム”
平成 23 年度,熊本高専卒業論文

番号	E-10	発表年月日	平成 25 年 2 月 22 日

（題名）　　ステレオ音源の左右位相差による音像定位実験

（副題）

研究者（連名者）	上村周也
所属	電子工学科
指導教員	三好正純（教授）

１．はじめに

・研究背景・目的

近年、３D 影像や大型画面のようにリアリティを追求した映像技術が発展、普及している。その状況下において高度に進化した映像表現を活かすために音の臨場感が求められる。そのためには、人の聴覚特性に基づく音の定位性について深く理解しておく必要がある。本実験ではステレオ音源を用いて、左右のスピーカーから出てくる音の位相差による定位性の実験を行う。音の位相差による定位性を調べ、音の臨場感を味わえるようにする。

２．聴覚と音像について

聴覚は音の強さ、高さ、音色、音源の方向などを認知する能力、機能のことである。人の聴覚は個人差はあるが、通常 20Hz から 15kHz～20ｋHz 程度の音まで感じることが出来る。この周波数帯域を可聴域といい、可聴域を超えた周波数の音を超音波という。

音像とは聴感上の音源のことである。人は音を聴いただけで音源の位置や音の大きさ、形などを感じ取ることが出来る。この感じ取られた音を音像と呼ぶ。人が音源の方向を識別できるのは両耳が受ける音のわずかな時間差と大きさの差を認識しているためである。今回は両耳が受ける音のわずかな時間差に着目して音像定位実験を行う。

３．実験

３－1.システム構成

図１は実験システムの構成図であり、遅延装置の中にスピーカーと２つのマイクロフォンが入っている。遅延装置は手動であり、マイクロフォン（R）を遠ざけることで左右のスピーカーの位相差を調節できる。遅延装置は最大１ｍまで動かせる。音源には正弦波発振器と雑音発生器を用いる。図２はスピーカーと被験者の配置図であり、被験者の正面に±30 度の方向でそれぞれ 1m の等距離に配置する。床に分度器を固定しておく。

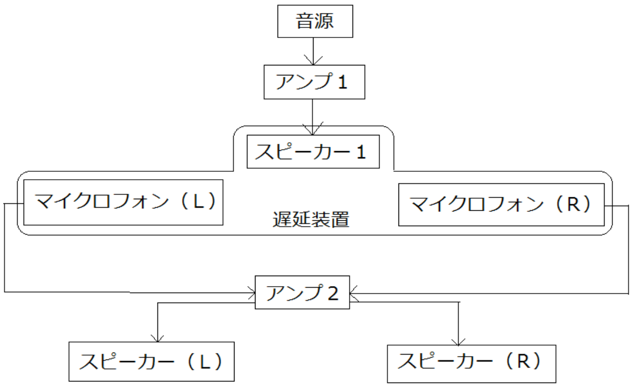


図1. 構成図

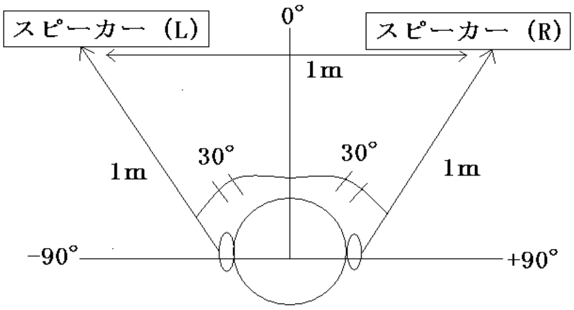


図2. 配置図

３－２.測定方法

500Ｈｚ、1ｋＨｚ、2ｋＨｚの正弦波と雑音（同じ周波数）の音像の定位を測定する。各周波数の 1.5 周期を 10 分割し、手動でマイクロフォン（R）を遠ざけ音が聞こえた方向を被験者に答えてもらう。答えてもらった角度を床に固定してある分度器で測定する。測定する際には、音源の外部に漏れる音によって音像が影響されないようにするために２つのスピーカーは別室に置いて実験を行った。

３－３．実験結果

図 3～図 5 に正弦波による測定結果のグラフを示す。なお、被験者は健康な聴覚を持つ 3 名とした。図 3 は 500Hｚの結果である。被験者 3 名とも同じようなグラフになり、音像は左右に定位している。周期性も見られ 10ｃｍと 80ｃｍ程で大きく左に定位し、20ｃｍと 90ｃｍ程で大きく右に定位している。これから波長は約 70ｃｍ程であると分かった。図 4 と図 5 はそれぞれ 1ｋＨｚと 2ｋＨｚの結果である。両方とも 500Hｚと違いばらつきが見られた。原因は高い周波数ほど聞き取りにくく音像の定位に個人差が出てしまったためだと考えられる。

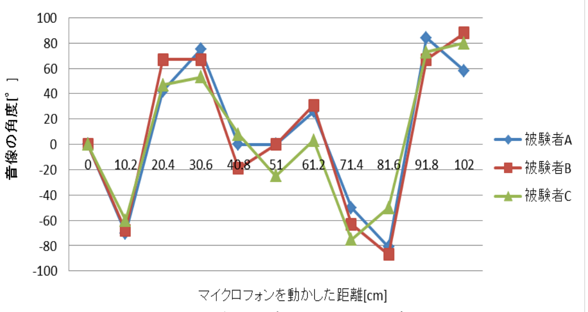


図3. 音像定位グラフ（500Hz 正弦波）

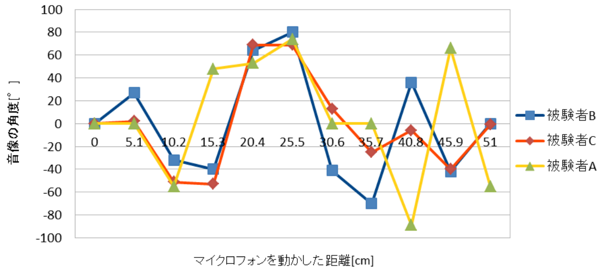


図4. 音像定位グラフ（1ｋHz　正弦波）

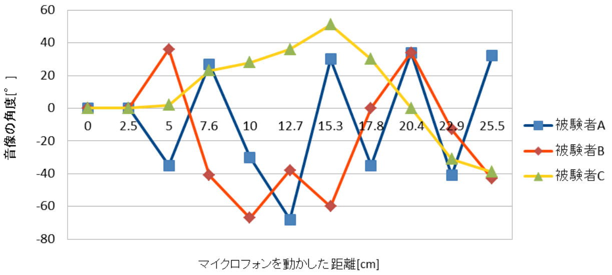


図5. 音像定位グラフ（2ｋHz　正弦波）

図 6～図 8 の白色雑音による測定結果である。被験者 3 名のグラフはそれぞれ違っているが、どれも右にしか定位していないことが分かる。これは雑音が位相差よりも音量に大きく影響されて音像が定位したと考えられる。また正弦波と雑音どちらも 20 数ｃｍ程で大きく右に定位していた。人の両耳間の距離が約 20ｃｍであるため、マイクロフォンを 20ｃｍ程遠ざけると左右スピーカーの音の時間差が両耳の距離の時間差とほぼ同じになることが一因として考えられる。

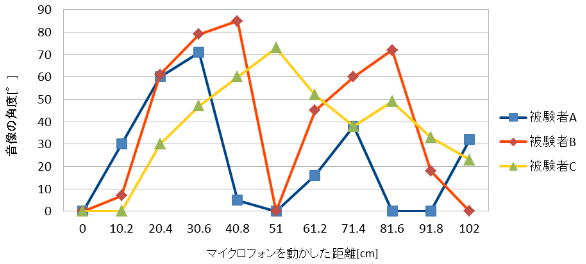


図6. 音像定位グラフ（500Hz　雑音）

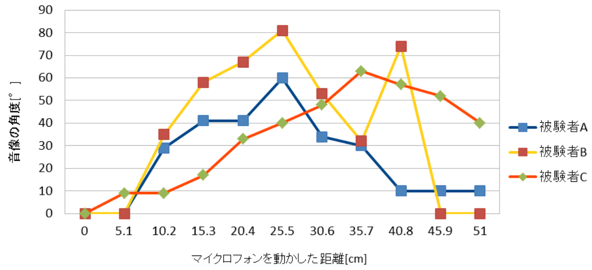


図7. 音像定位グラフ（1ｋHz　雑音）

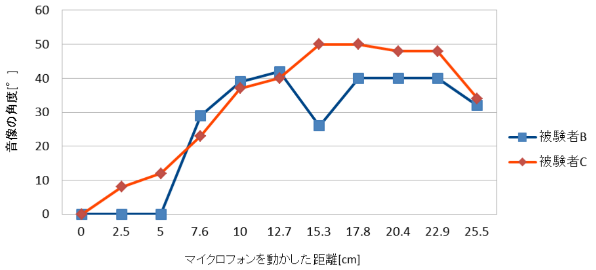


図8. 音像定位グラフ（2ｋHz　雑音）

４．まとめ

音の位相差による音像定位の実験を行った。正弦波と雑音の音像定位性を測定したところ、500Hｚの正弦波では被験者 3 名の結果は少々ばらつきが出たが周期性は観測でき正弦波は位相差を変えることにより左右様々な方向に音像が定位した。また周波数が高くなるほど聞き取りづらくなり、音像の定位にも個人差が生じることが分かった。一方雑音は位相差よりも音量に影響されて音像が定位することが分かった。正弦波と雑音の共通点は約 20ｃｍマイクロフォンを遠ざけたところで音像が大きく右に定位したところであった。

5．参考文献

電気通信学会　淀川英司、東倉洋一、中根一成“視聴覚の認知科学”

番号	E-11	発表年月日	平成２５年２月２２日

（題名）　サウンドプロセッサを用いた三次元立体音場の生成　　　　　　　制御

研究者（連名者）	遠藤　弘也
所属	電子工学科
指導教員	三好　正純（教授）

1. はじめに

近年,3D 映像や大型画面のように,リアリティを追求した映像技術が発展・普及している．そんな状況下において,高度に進化した映像表現を活かすために,音の臨場感が求められている．また福祉的な面においても,自由に外を出歩けない人へ森や海などまるでそこにいるかのような感覚を聴覚から提供したい．そこで本研究ではサウンドプロセッサを用いた三次元立体音響システムにより三次元立体音場を生成し,提供したいと考えている．

2. 目的

サウンドプロセッサを用いた三次元立体音響システムを使用して三次元立体音場の生成を行おうと考えた．しかし,本システムは複数の機器で構成されるシステムのため,操作が困難である．そこで初めて使用する人でも簡単に基本的な操作ができるように、使用者の求める状況に合わせた操作方法をチュートリアル方式で説明を表記したマニュアルを作成することを目的とする．

3. 使用ハードウェア及びソフトウェア

3.1. ハードウェア

UM-880(MIDI パッチャー)×2 台　[1]
AR-3000(オーディオレコーダ)×２台　[3]
SRA-50(パワーアンプ)×４台　[5]
RSS-10(サウンドプロセッサ)×４台　[2]
VM-7200(ミキサー)　[4]
MS-50(スピーカー)×８台　[6]

3.2. ソフトウェア

RSS-stuff(音場を線図で書き込むことで音の動きを操作するソフト)　[7]

4. サウンドプロセッサを用いた立体音響システムとは

本システムは,８つのスピーカーを使用することで上下左右の立体的な音像の定位が表現できる．また RSS-stuff を用いることで MIDI 信号により立体的な音像を作為的に操作することが可能である．再生される音源についてはオーディオレコーダに挿入された PC カードから読み取り,１台につき２つの PC カードスロットを持っており,最大４つの音源を同時再生することができる．

5. マニュアル作成のための検討事項

5.1. 配線を観察し、音や MIDI 信号の流れを考察する

複数の機器からなる複雑な配線を音や MIDI 信号の流れ,また各機器の役割を理解するために観察し,考察する．

5.2. RSS-stuff を用いた音像操作

RSS-stuff を用いた音空間の上下左右のプログラミングを行い,実際に聞いてみてプログラム通りの音の動きができているかを実験する．

5.3. 録音について

PC カードにどのような形式で音源が録音されているのかを調べ,音のデータを PC カードにそのまま転送し使用することができるのか,またどのようにして音を録音することができるのかを検証した．

5.4. マニュアルの構成について

5.1.~5.3.の結果に基づき,初めて使う人が陥りやすい注意点と使用者の求める状況に合わせた操作方法をチュートリアル方式で説明を表記したマニュアルを作成する．

6. 結果及び考察

6.1. 音や MIDI 信号の流れ

5.1.のように各機器の配線から音と MIDI 信号の流れを考察した結果以下のことがわかった．三次元立体音場を生成する過程として図 1 に音の流れと MIDI 信号の流れを示す．MIDI 信号は RSS-Stuff からミディパッチャーに入力され,そこで MIDI 信号は 4 台のサウンドプロセッサに割り振られる．また，音の流れはミキサーに入力されたあと各サウンドプロセッサに同じ音が同じ大きさで入力される．そして各サウンドプロセッサは入力された MIDI 信号に従って音を制御し，立体的な音場を作り出している．この音をアンプで拡大し,スピーカーへ出力することで初めて使用者の耳にたどり着く．このような音と MIDI 信号の流れにより三次元立体音場が生成される。

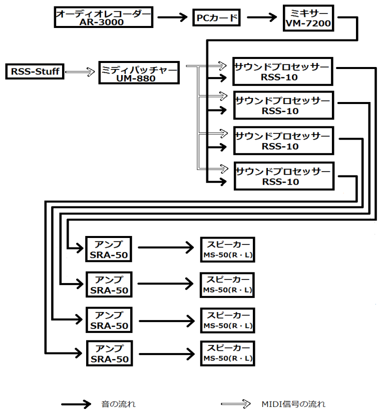


図 1:音と MIDI 信号の流れ

6.2. RSS-stuff を用いた音像操作

RSS-stuff を用いて図 2 ,図 3 のようなプログラムを作成し,検証した．図 2 は真上から音空間を見たプログラムで使用者の周りを楕円状に回るように音を動かすプログラムである．図 3 は真横からみた同じプログラムで使用者の周りを横に動きながら上昇する動きをする．それぞれの図を見るとわかるように螺旋状に音が上へと上がっていくようなプログラムとなっている．これを実行し，実際に聞いてみるとほぼ忠実にプログラム通りの音の動きが再現されていた。

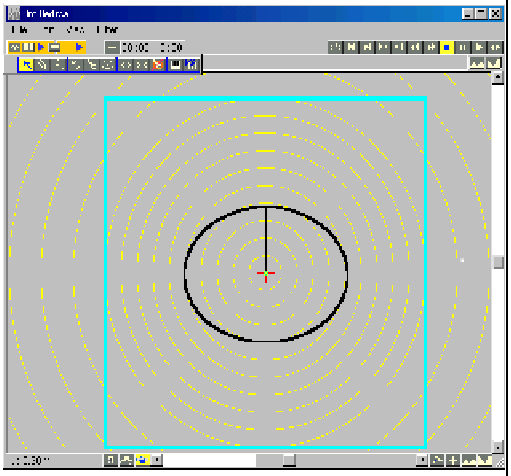


図 2:真上から見た音空間のプログラム

6.3. 録音について

PC カードのファイル構成を調べたところ,独自の.PHR という拡張子で音源が保存されており,PC を介してデータの転送を行っても拡張子が.PHR のものしか音源として使用できない．そのため録音する際は任意の音源を録音した音楽プレイヤ等をミキサーに入力しサウンドプロセッサの録音機能により録音するしか手段がないということがわかった．

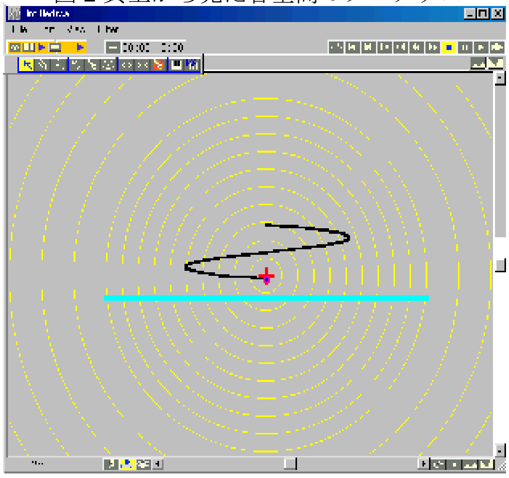


図 3:真横から見た音空間のプログラム

7. まとめ

- 本システムは PC カードに録音された音を MIDI 信号で制御し三次元立体音場を生成していることを確認した．
- rss-stuff を用いることで音像を上下左右に動かすことができた．
- 録音はミキサーに任意の音源をプレイヤ等を介して入力することで録音ができた．
- 以上のことを踏まえて,初めて使用する人でも基本的な操作が可能なチュートリアル方式の説明を加えたマニュアル作成を行った．

8. 参考文献

[1]Roland　UM-880　取扱説明書
[2]Roland　RSS-10　取扱説明書
[3]Roland　AR-3000　取扱説明書
[4]Roland　VM-7200　取扱説明書
[5]Roland　SRA-50　取扱説明書
[6]Roland　MS-50　取扱説明書
[7]Roland　RSS-stuff　取扱説明書

番号	E－１２	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）カラーイメージの定量的表現方法の研究
（副題）

研 究 者 （ 連 名 者 ）	外浦稜
所　　　　属	電子工学科
指　導　教　員	三好正純（教授）

1．はじめに

1.1 目的

製品などをデザインするとき、そこには設計者個人のイメージや趣味、嗜好が含まれ、必ずしも消費者が求めているものと一致しない。そこで、消費者の求めるデザインと一致させるために、デザインの設計を支援するためのシステムがあると便利である。人が持つカラーイメージを定量化することで、工学的にデザインを支援することができるシステムの開発を目指す。本研究では人が持つ色に対する感性を定量的に表現することを目的とする。

1.2 カラーイメージスケールとマンセル表色系について

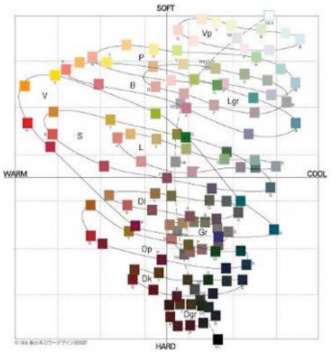


図 1．カラーイメージスケール
(日本カラーデザイン研究所出典)

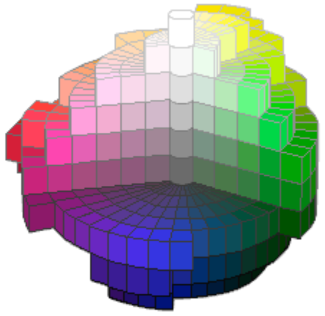


図 2．マンセル色立体

色のイメージは大きく warm-cool(wc)と hard-soft(hs)の 2 つの尺度で表現できることがカラーデザイン研究所の研究でわかっている[1]。その 2 つを座標軸とし、色を配置したものがカラーイメージスケールである(図 1)。また、表色系の一つに色を色相(h)、彩度(c)、明度(v)の 3 つで表すマンセル表色系がある。これらを 3 次元的に表示したものがマンセル色立体である(図 2)。今回は、マンセル色立体とカラーイメージスケール上の色の配置が似ていることに着目した。また、色相、彩度、明度を数値化することで色と感性を関係付けられると考えた。

2．xyz 座標を使っての定量化

2.1 昨年の研究との違い

今回の研究において、hcv の各値は 0~240 である。また、イメージスケールの wc、hs の各軸を-5~+5 の範囲とする。昨年の研究では感性と色の関係付けに hcv の値をそのまま使用していた。しかし、h は環を描いている。この方法では 0 と 240 が実際には同じ色にもかかわらず、まったく違う色として計算されてしまう。そこで、今回はマンセル色立体を xyz の 3 次元座標系として捉え、計算することにした。

2.1 定量化方法

まず、関係式を得るためにカラーイメージスケール上の色から 35 色選び、番号を振る。その選んだ色の hcv の各値をペイントソフトを使って求める。そして、選んだ色がマンセル色立体のどこにあるかを調べるために、つぎの式を使って数値変換を行う。

$$x = r * \sin\theta \quad y = r * \cos\theta \quad z = v \quad (r = c / 240 \quad \theta = h * 1.5)$$

次に選んだ色の wc、hs の値を求める。wc、hs の値を説明変数、xyz の値を目的変数とし、重回帰分析を行うことにより、感性と各色の値を関係付ける。

2.2 結果

重回帰分析によって求めた関係式をつぎに示す。(wc、hs の範囲は-5~+5)

$$x = -0.153(wc) + 0.0255(hs) - 0.0133(wc)^2 + 0.0110(hs)^2 + 0.344$$
$$y = -0.0281(wc) + 0.110(hs) - 0.0216(wc)^2 - 0.0171(hs)^2 + 0.218$$
$$z = 2.35(wc) + 18.6(hs) - 1.77(wc)^2 + 0.467(hs)^2 + 103$$

上記の関係式に値を代入し、カラーイメージスケール上の位置関係から元の色を求めることができるかを試した。似た色が出たのは 35 色中 16 色となった。以上の結果から、今回の式では正確性に欠けることが分かった。

3. マンセル色立体の形に類似させての定量化

3.1 明度を基準とした変換

マンセル表色系では明度が変化するにしたがって、彩度の最大値も変化する。そこで、更にマンセル色立体に近づけるべく、xyz 座標を以下の式で変換した。z の範囲は 0~240。0 のとき黒、240 のとき白となる。

$$x" = x * \{-\frac{1}{120^2}(z - 120)^2 + 1\}$$

上記の変換を y にも施し、再度重回帰分析を行った。

3.3 結果

重回帰分析によって求めた関係式をつぎに示す。(wc、hs の範囲は-5~+5)

$$x = -0.129(wc) + 0.02(hs) - 0.00457(wc)^2 + 0.00163(hs)^2 + 0.308$$
$$y = -0.0197(wc) + 0.00654(hs) - 0.015(wc)^2 - 0.00969(hs)^2 + 0.193$$
$$z = 2.35(wc) + 18.6(hs) - 1.77(wc)^2 + 0.467(hs)^2 + 103$$

前回と同様に、式から元の色を求めることができるかを試した結果、似た色が出たのは 35 色中 17 色となった。変換を行う前と比べても大きな変化は見られなかった。また、hcv それぞれのグラフを図 3~5 に示す。縦軸は hcv それぞれの値、横軸は各色に振った番号である。

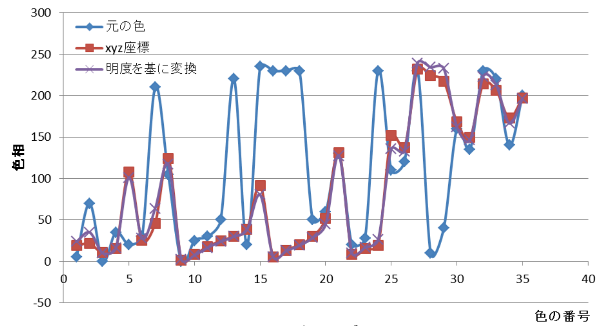


図3. 色相のグラフ

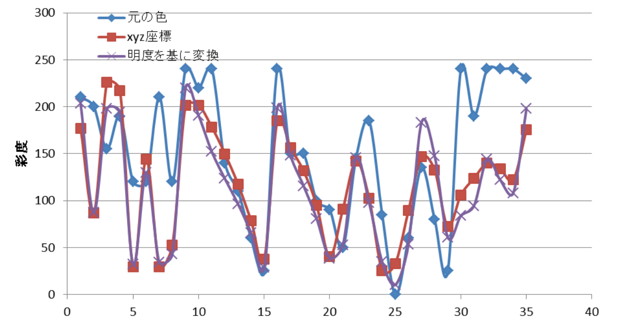


図4. 彩度のグラフ

4. まとめ

xyz 座標を利用した方法と明度を基準とした変換では思うようにいかないことがわかった。色相はわずかにずれるだけで、数値上は近い値でも人間の感覚としては非常に違う色に見えてしまうため、かなりの正確性が求められる。また､色は hcv の 3 つの値によって決まるため､1 つの値が正確でも他の値が不正確だと元の色には戻らない。

改善点として、カラーイメージスケールの軸の曲線に合わせてマンセル色立体の z 軸を曲げることが挙げられる。

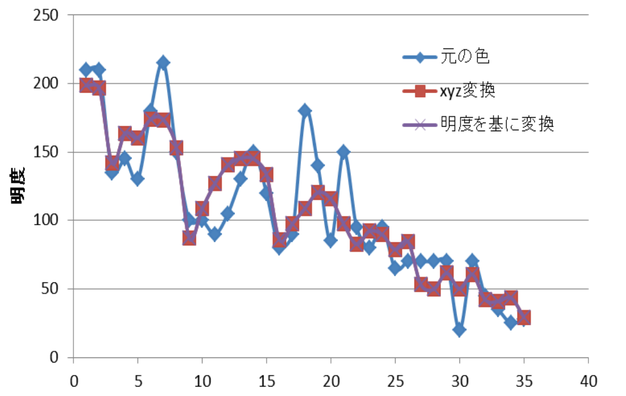


図5. 明度のグラフ

5. 参考文献

[1] 講談社 小林重順著 日本カラーデザイン研究所編 カラーイメージスケール 改訂版

[2] ナツメ社 山脇惠子著 色相心理のすべてがわかる本

番　号	E－13	発表年月日	平成25年2月22日

（題名）　ポスターデザインに対する視覚感性の視線追尾による検討

研究者（連名者）	松田　友美
所属	電子工学科
指導教員	三好　正純(教授)

1.　はじめに

現在,身の回りには様々なポスターや看板が存在している.それらはすべて何らかの意図を持ってデザインされている.しかし,実際にその意図に沿ったものを製作することは難しい.そこで,様々な種類のポスターに対して印象を調査し視線追尾を行うことで,ポスターデザインと視覚感性の関係について検討する.

2.　視線追尾装置 EMR-9 について[1]

本研究では,眼球運動を観測するために nac 社の視線追尾装置 EMR-9 を用いた.この装置では検出方法に瞳孔法,角膜反射法の2つの検出方式を用いている.瞳孔法は瞳孔の位置を検出する方法で,角膜反射法は角膜に赤外光を照射し,その入射光を検出する方法である.本実験では瞳孔法を用いた.

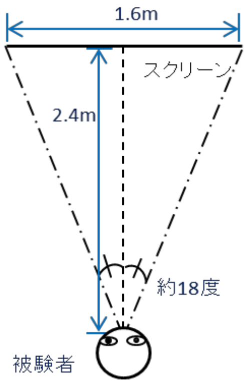


図 1.　実験状況

3.　実験

16 種類のポスターサンプル(図 2)を用意し,各ポスターがスクリーン上で最も大きく表示されるようにスライドを作成した.そのスライドを用いて,被験者5名に EMR-9 を付けた状態でポスターを見てもらい,そのあと 15 項目の印象アンケート[2][3]に 5 段階評価で答えてもらった.実験を行ったときの状況を図 1 に示す.各ポスターの表示時間は 10 秒,ポスターの前に 5 秒間視線を中心に集めるためのスライド,ポスターの後にアンケートに記入する時間を設けた.

図 2.　実験に使用したポスターサンプル

4.　結果

(1)視線追尾による検討

EMR-9による5人分の測定データから停留箇所,停留時間を求める.ポスターに書かれているものを絵と文字の二種類とし,ポスターが表示されて最初に視線が移動した点を初期位置,それぞれの人の最も停留時間の長かった箇所を停留箇所として,その組み合わせからポスターを4つのグループに分類した.結果を表1に示す.

表1. 停留点・停留時間による分類

グループ	初期位置	停留箇所	ポスター番号	特徴
①	文字	文字	1,2,4,12,14	文字が大きい あるいは文章が長い
②	文字	絵	9,13,16	人が映っていない 短い文章と絵が数か所に点在している 長い文章の文字が小さい
③	絵	文字	5,6,8,15	人の写真が使われている 文章が長い
④	絵	絵	3,7,10,11	ひとつの文章が短い 長い文章の文字が小さい 写真が使われている

(2)感性評価によるポスターの分析

5人のアンケート結果からアンケート項目の因子分析を行った.各ポスター間の相関を求め,7つにグループ分けをした.このとき,相関が0.5以上のものを相関があるとみなした.相関が強いものを近くに,弱いものを遠くに配置した相関図を作成した.因子分析の結果を表2に,相関によるポスターの分類を表3に示す.

表2. 因子分析の結果

感性因子	寄与率	負荷量の大きい感性語
第1因子 重量感	0.32	個性的 新しい 派手 男性的 重い 迫力のある
第2因子 品質	0.18	すっきりした 安定した 好き
第3因子 躍動感	0.24	楽しい 明るい にぎやか

表3. 相関によるポスターの分類

グループ	ポスター番号	共通する印象語	因子
①	2,4,7,15	個性的な、新しい、派手な、楽しい 男性的、にぎやかな、好き	第1因子(重量感) 第3因子(躍動感)
②	2,11	軽い、均一な、にぎやかな すっきりした、すなおな、安定した	第3因子(躍動感)
③	1,10,11,13	女性的、軽い、明るい 均一な、すなおな	—
④	11,14,16	軽い、明るい、見慣れた、均一な 迫力のない、すっきりした、すなおな 安定した	—
⑤	6,10,12,14	女性的、均一な、迫力のない すっきりした、すなおな、安定した、好き	第2因子(品質)
⑥	8,12,14	迫力のない、すっきりした、すなおな	—
⑦	6,13	新しい、女性的、軽い、迫力のない すっきりした、すなおな	—

5.　考察

視線追尾の結果より,人の顔が写っているものは,顔に最初に目がいきやすく,人の顔が2つ以上あり,大きな文字が中心付近にある場合はその文字に最初に目がいきやすいことがわかった.よって,ポスターで最初に目がいきやすいものを順に並べると,人の顔,大きな文字,大きな絵や写真となると考えられる.最初に絵に目がいく場合でも,長い文章のあるものは文字を見ている時間が長くなる.これは文章を読む時間がかかったためと考えられる.逆に最初に文字に目がいっても,文字が小さいものや文章が短いもの,絵が多いものの場合は絵を見ている時間が長くなる.

次に,感性評価の結果から,ポスターは視線の行く対象の多いものと少ないものの2種類に大きく分けて考えることができる.多いものは派手な,楽しい,男性的といった印象となる.少ないものはすなおな,すっきりとしたという印象を得る.ポスターを相関で配置した図からは,色のはっきりした濃いものから順に色の種類は多いが薄いもの,色が少ないものとなった.これより,受ける印象は色からの影響が大きいと考えられる.

6.　まとめ

ポスターを見たときに受ける印象とそのときの視線移動について調査した.その結果,ポスターに写真を用いる場合,最も目が集まりやすいのは人の顔であることがわかった.写真に注目して欲しい場合には人の顔を使うことが最も効果的である.また,文字を見て欲しい場合は短い文章で大きめの文字で書くとよい.アンケート結果と相関図から,ポスターから受ける印象に大きく影響するのは使われている文字・写真の大きさとポスター全体の色であることがわかった.

7.　参考文献

[1]取扱説明書ナックアイマークレコーダ model ST-725,pp.3-3,2009
[2]三好正純,下塩義文,古賀広昭,"人の感性に基づいた看板文字の書体選定法について",pp.2,pp.3,1999
[3]宮崎隆之,萩原将文,"感性を反映できるポスター作成支援システム",pp.1934,pp.1935,1997

番号	E-14	発表年月日	平成２５年２月２２日

（題名）　簡易設置可能な没入型ディスプレイ装置の製作
（副題）

研究者（連名者）	村上紘一
所属	電子工学科
指導教員	三好正純（教授）

１．背景

高齢化社会になりつつある現代社会。これから先の時代では、容易に外に出歩けなくなる人が増えることが考えられる。そのような方たちはストレスのたまる毎日を送ることが予想される。
また近年では、実際にその場にいるような感覚が得られるディスプレイが開発されており[1]、さまざまな分野で応用されている。しかし、大掛かりであるため一般家庭などで使用するのは容易ではない。

２．目的

本研究では、外出することなく、実際にその場にいるような感覚である没入感を得られる簡易設置可能なディスプレイの開発を目的とする。これにより肢体に障害のある人や、外に出歩くことのできない人のストレスの軽減につなげる。静止画像による評価実験を行う。

３．没入型ディスプレイについて

没入型ディスプレイとは、人間の視野を覆うような映像を投影することで、実際にその場にいるような感覚の没入感を得られるディスプレイのことである。

４．人間の視野について

真正面を注視した状態で、はっきりしなくても見える範囲のことを視野という。最大視野範囲はおよそ水平方向に２１０度、垂直方向に１２５度程度といわれている。人間が視覚より文字や色などの詳細な情報を得ることのできる範囲は中心視野と位置づけられ、およそ水平方向に３０度、垂直方向に２０度程度である。そして中心視野から外れた視野を周辺視野という。

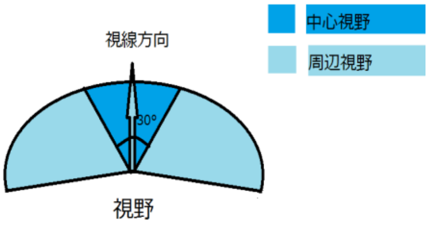


図１．視野角

５．ディスプレイの構造

5.1 ディスプレイの設計

前述の通り人間の視野は 200° 程度あるので魚眼レンズ（等立体角射影方式）を利用してディスプレイの関数を決定する。

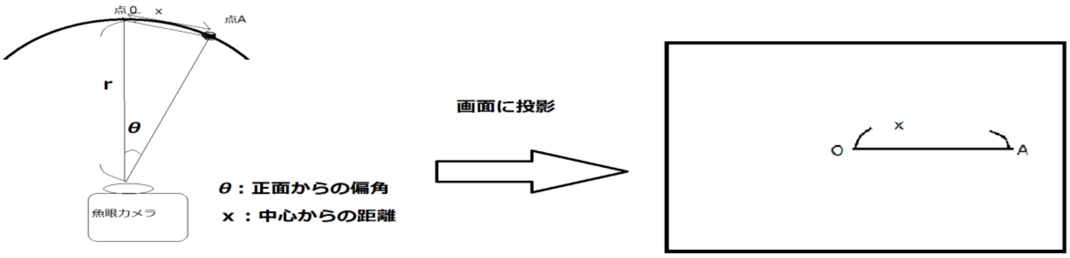


図２．等立体角射影方式の投影関係

上図より、等立体角射影の偏角θと像の大きさ x の関係が $x=2r\cdot\sin(\theta/2)$である。
この関係式を使ってディスプレイの関数を求めると次式となる。プロジェクタの位置を２ｍとし、曲面の凸方向を y とすると次式となる。

$$y=\frac{\frac{1}{2}-\frac{2}{2-y}x^2}{\frac{2}{2-y}\sqrt{\left(1-\frac{2}{2-y}x^2\right)}}$$

5.2 投影システム

従来の没入型ディスプレイは複数のプロジェクタを必要とするが、今回製作したディスプレイにはプロジェクタ１台で投影した。

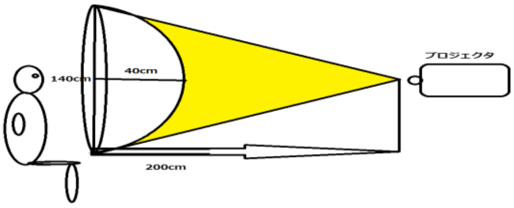


図３．投影システム

6 簡易設置可能な没入型ディスプレイの評価実験

6.1 実験方法

・実験は製作した曲面ディスプレイとフラットディスプレイの２種類で行う。

・ 実験に使用する画像はフラットディスプレイと曲面ディスプレイに各々10 枚ずつ同じ場所で撮影したものを使用する

・ フラットディスプレイには広角のレンズで撮影した画像、曲面ディスプレイには魚眼レンズでそれぞれ撮影した画像を使用する。

・ 各画像を見てもらい、没入感が得られたかを、「感じられない」から「かなり感じられる」の１～５で５段階評価をする。

6.2 結果

被験者３名（A,B,C）のアンケート結果を表１に示す。フラットディスプレイでの点数の平均を m1、曲面ディスプレイの点数の平均を m2 として、曲面による効果を m2－m1 として算出した。

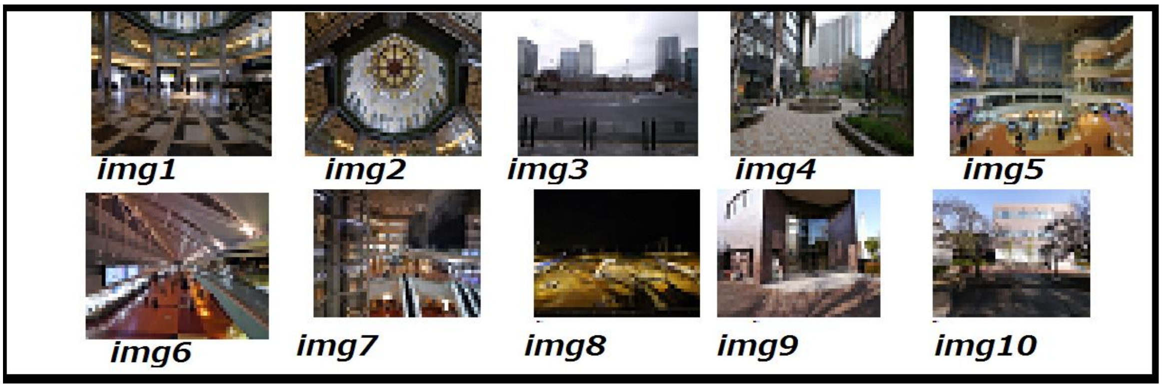


図４．実験に用いた画像サンプル

表１.各画像に対する評価と平均

フラットディスプレイ	画像	A	B	C	平均m1
	img1	2	2	3	2.3
	img2	4	2	3	3
	img3	3	1	2	2
	img4	4	1	3	2.7
	img5	3	2	2	2.3
	img6	4	1	3	2.7
	img7	4	1	3	2.7
	img8	2	1	2	1.7
	img9	3	1	3	2.3
	img10	2	1	2	1.7

曲面ディスプレイ		A	B	C	平均m2	曲面による効果
	img1	4	4	4	4	1.7
	img2	3	5	3	3.7	0.7
	img3	4	3	4	3.7	1.7
	img4	5	4	5	4.7	2
	img5	3	4	4	3.7	1.4
	img6	3	2	3	2.7	0
	img7	3	3	4	3.3	0.6
	img8	3	2	2	2.3	0
	img9	4	2	4	3.3	1
	img10	2	2	4	2.7	1

6.3 考察

実験の結果を見ると曲面ディスプレイの方が没入感を得られることがわかった。画像によっては曲面による没入効果が少ないものも見られた。もともと奥行のある画像に対しては曲面ディスプレイによる没入感の得られ方の差がすくないと考えられる。

7．まとめ

本実験の曲面による没入効果の測定でディスプレイを曲面にすることで没入感を得られることがわかった。もともと奥行のある画像に対しては曲面による効果は少ないことがわかった。

参考文献

[1]柴野伸之“スケーラブルなドーム形状没入型ディスプレイ構築手法に関する研究”大阪大学博士論文　2004 年　9 月

番　　号	E-15	発表年月日	平成２５年２月２２日
（題名）	DC-DC コンバータ回路のシミュレーションと比較		
研究者（連名者）	三隅 裕		
所　属	電子工学科		
指導教員	寺田 晋也(助教)		

１．目的・研究背景

DC-DC コンバータ回路をシミュレートし、データシートの数値と比較する。シミュレーションに HSPICE を使用する。回路を昇圧のみ又は降圧のみに動作を限定することにより、部品点数を最小限にした DC-DC コンバータは基本型とよばれる。これらの回路は小型、安価、リップルが小さい等の利点を持っており、機器の小型化に伴い、需要が増えている。 今回はこの DC-DC コンバータの特性をシミュレーションによって明らかにする。

２．作成する電子回路

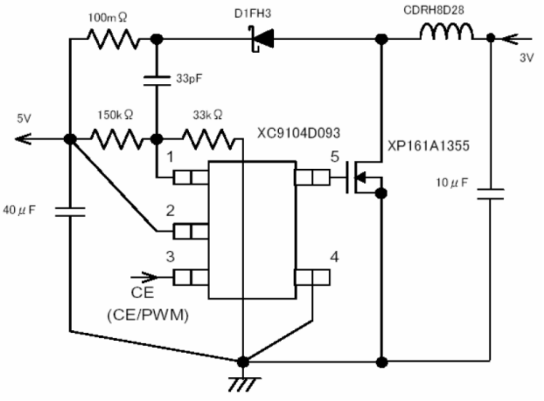


図１．XC9104D093（昇圧）回路

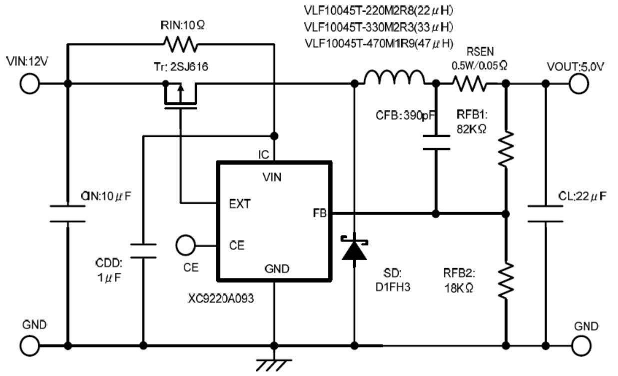


図２．XC9220A093（降圧）回路

DC-DC コンバータ回路の要求仕様のうち、重視される項目は、

(1) 安定動作すること(＝異常発振等の誤動作や焼損や過電圧により破壊しないこと)
(2) 効率が大きいこと
(3) 出力リップルが小さいこと
(4) 負荷過渡応答が良いこと

があげられる。これらは、DC-DC コンバータ IC および外付部品を変更することにより、特性を変えることができる。

図１は XC9104A093 を用いて入力電圧 3V を 5V に昇圧する回路である。

図２はこの図は XC9220D093 を用いて入力電圧 12V を 5V に降圧する回路である。

３．回路のシミュレーション

HSPICE は、SYNOPSYS（シノプシス）社から発売されている、Electronic Design Automation 業界において「GOLD STANDARD」と認知され、高精度を誇る回路シミュレータである。

回路図を直接絵を描くように入力するのではなく、 解析したい回路図から自分で素子の名前やノードの名前を決めて、 その接続状態をテキスト形式でファイルに入力する。

そして出来上がったファイルには回路図の情報だけでなく、細かい解析方法などの命令文を書いておき、 それらの指定通りにプログラムが解析を行う。

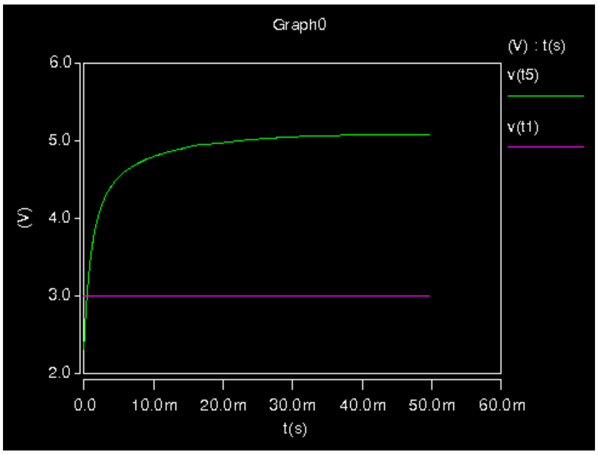


図 3. 昇圧回路のシミュレーション結果

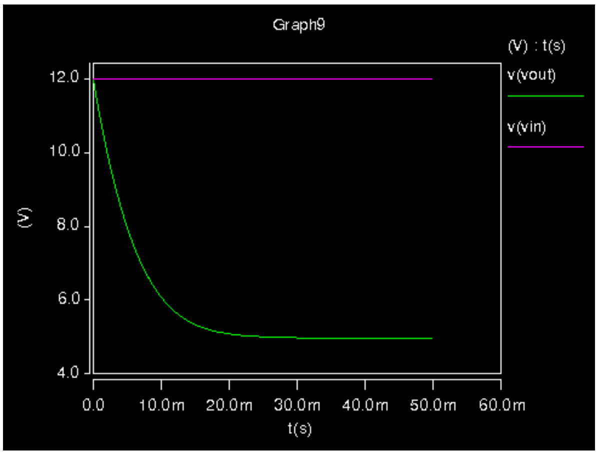


図 4. 降圧回路のシミュレーション結果

図 3 は昇圧回路のシミュレーション結果で、出力電圧が 5 V まで上昇しているのがわかる。
図 4 は降圧回路のシミュレーション結果で、出力電圧が 5 V まで降下しているのがわかる。

XC9104D093 を HSPICE 上で再現するため理想的なパルス波を入力する。この回路は負荷抵抗を 500 Ω に設定してあるため、パルス波の時比率は 15%となる。時比率は図 5 の T_1/T_2 で求められる[1]。
同様に、同様に XC9220A093 は、時比率は 94%となる。
また、先ほどの回路で用いた MOSFET のモデルが HSPICE にはなかったので、今回は特性が近い MOSFET のモデル[2][3]を用いて実験を行った。

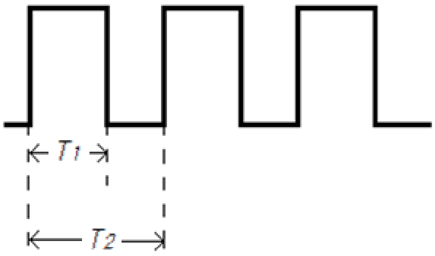


図 5. 理想的なパルス波のパルス幅

4. シミュレーション結果の比較

昇圧回路の電力効率は、シミュレーションでは約 18%となったが、データシートでは約 75%となっている。また、降圧回路の電力効率は、シミュレーションでは約 91%となったが、データシートでは約 70%以下となっている。
このことから、DC-DC コンバータの電力効率は、MOSFET による影響が大きいということがわかる。
IC の代わりに理想的なパルス波を入力することで、昇圧、降圧を再現することができる。
MOSFET は実際に用いられた製品と違うものでシミュレーションしたため、電力効率はシミュレーション結果とデータシートに記載された値とで大きく差が出た[4]。
この DC-DC コンバータは MOSFET によって電力効率に大きく差が出ることが分かった。

5. まとめ

HSPICE を用いて昇圧型 DC-DC コンバータと降圧型 DC-DC コンバータを作成した。
IC を再現するため、理想的な時比率を計算し、パルス波を入力した。
本来使用するはずの MOSFET のモデルが HSPICE になかったので、近い特性を持っている MOSFET で代用したが、昇圧、降圧はできたものの電力効率は大きく異なるものとなった。

6. 参考文献

[1]原田耕介,二宮保,顧文健,”スイッチングコンバータの基礎”pp.26,1992
[2]International Rectifier,”IRLML9301TRPbF”,pp.1-2
[3]International Rectifier,”IRLMS1902PbF”,pp.1-2
[4]トレックス･セミコンダクター株式会社,”DC/DC コンバータの検討”,pp.13-15

番　　　号	E-16	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）　　　スイッチトキャパシタ AC-DC コンバータに関する研究

研 究 者 （ 連 名 者 ）	平井　崇詞
所　　　　　　　　属	電子工学科
指　　導　　教　　員	寺田　晋也（助教）

１．研究背景・目的

スイッチトキャパシタ(SC)コンバータは，スイッチとキャパシタを使用して，接続を変更することにより電圧変換を行う回路である[1]．SCコンバータは磁性材料を使用しない，発振しないなどの長所をもつ．本卒研では，新しい制御方式のSCコンバータを提案する．提案する制御方式は，トリボナッチ数列を基にして降圧できるコンバータおよび変圧比が2進数に対応したデジタル選択方式の2種類である．直並列形SCコンバータ[1]と同じキャパシタ数とスイッチ数による構成で，キャパシタ数より高い降圧比が実現できる．提案回路の有効性は，AC入力100V/50Hz，DC出力20Vの場合について，HSPICEシミュレーションによって確認する．

２．提案する回路[2]

図1は，SC AC-DCコンバータのブロック図である．まずV_{in}から入力された，交流電圧を全波整流回路により変圧させ全波整流V_{acf}に変換させる．次にレギュレーターを通すことで，階段波V_{acr}のような波形にする．最後にSCコンバータを通すことで，一定の電圧となった直流電圧V_{out}に出力する．

図2は，図1に示すSCコンバータの回路構成である．提案回路は4個のキャパシタと10個のスイッチで構成している．例として，入力電圧120V以上でトリボナッチ方式で動作したときの変圧比1/6の瞬時等価回路を図3に示す．クロックは3相で動作する．状態3では，キャパシタC_1は隣接するキャパシタC_2，C_3とC_4に直列接続する．状態2では，キャパシタC_1は隣接するキャパシタC_2，C_3,C_4に直列接続する．状態1では，キャパシタC_3は隣接するキャパシタC_4と直列接続する．状態1～3を繰り返すことによって，トリボナッチ数列に基づいた変圧比が可能である．また，すべての状態においてキャパシタC_4は出力端子に接続されており，常時出力電圧が得られる．トリボナッチ方式において，クロックパターンを変えて，無負荷のときの入出力電圧の関係は以下の式で表せられる．

$$V_{out} = \frac{1}{r} V_{acr} \quad (r\in\ 1, 2,\cdots, \mathrm{Tri}(5)=7) \qquad (1)$$

ここで，Tri(n)は，トリボナッチ数列である．

Tri(n)= Tri(n-1)+Tri(n-2)+Tri(n-3)　(ただし，Tri(1)=Tri(2)=1とする)

デジタル選択方式の場合も図２を用いて，スイッチのクロックパターンを変更する．図４は，変圧比 1/6 のときのデジタル選択方式の瞬時等価回路を示す．状態 1～3 まで状態遷移することによって，C_jは，C_{j-1}から C_1の直列接続を並列に接続する．状態４では，キャパシタの重み付けに対応するキャパシタを V_{acr}に接続し充電する．すべての状態においてキャパシタ C_4は出力端子に接続されており，常時出力電圧が得られる．デジタル選択方式において，クロックパターンを変えて，無負荷のときの入出力電圧の関係は以下の式で表せられる．

$$V_{out} = \frac{1}{r} V_{acr} \quad (r\in\ 1, 2,\cdots, 2^3=8) \qquad (2)$$

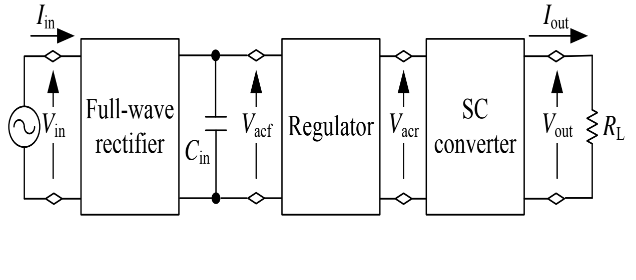


図１　SC　AC-DC コンバータのブロック図

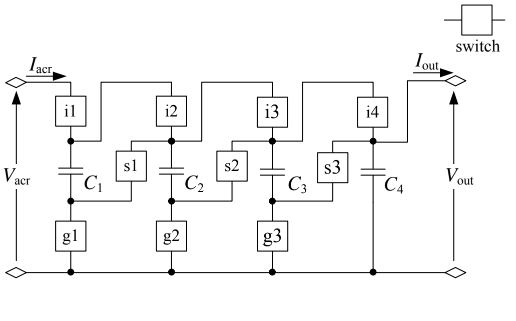
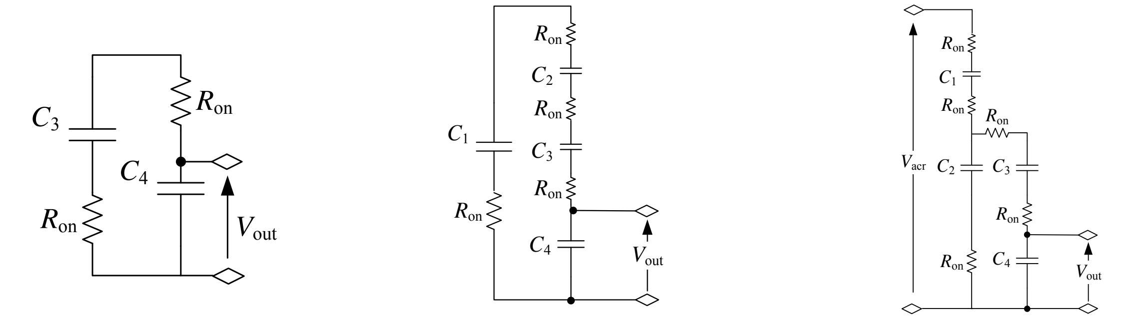
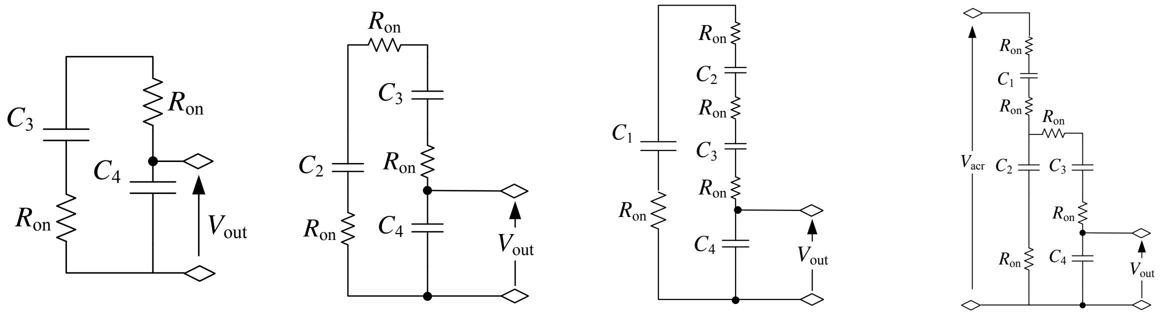


図２　提案する SC コンバータ



(a) 状態 1　　(b) 状態 2　　(c) 状態 3

図 3　トリボナッチ方式の瞬時等価回路(変圧比 1/6)



(a) 状態 1　　(b) 状態 2　　(c)状態 3　　(d) 状態 4

図 4　デジタル選択方式の瞬時等価回路(変圧比 1/6)

３．シミュレーション

提案回路の有効性を明らかにするために，回路シミュレータHSPICEによるシミュレーションを行った．条件として入力電圧V_{acr}=100V,，キャパシタ容量C_1=C_2=C_3=C_4= 30μF，クロック周期T=10μs，スイッチのオン抵抗R_{on}=0.1Ωのもとで行った．

図5は，トリボナッチ方式の入出力特性である．図6は，デジタル選択方式の入出力特性である．

入力電圧が商用電源でも，出力電圧V_{out}がほぼ一定(20V)にすることができた．

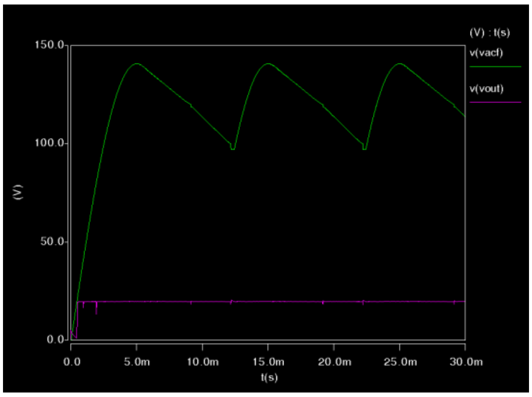


図 5　トリボナッチ方式の入出力特性

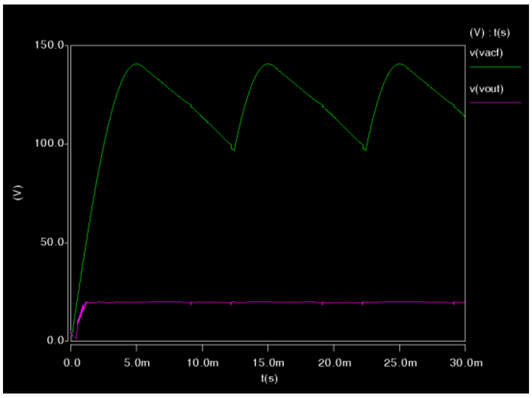


図 6　デジタル選択方式の入出力特性

４．まとめ

今回提案した回路は従来の回路と比べ，素子数を減らしたものである．今回提案した回路においてシミュレーションを行うと，出力結果が従来の回路と差異がないことが確認できた．

５．参考文献

[1]　大田一郎，井上高宏，上野文男, “スイッチトキャパシタ変成器を用いた小電力電源の構成とその解析”電子通信学会論文誌, vol.J66-C, no.8, pp.576-583, 1983年8月.

[2]　寺田晋也，平湯宗人，江口啓，大田一郎，“降圧比を可変できるスイッチトキャパシタプログラマブルコンバータ”第24回　回路とシステムワークショップ，August　1-2，2011.

番　　　号	E-17	発 表 年 月 日	平成 25 年 2 月 22 日

（題名）CentOS を用いたサーバ構築

研 究 者 （ 連 名 者 ）	野尻　祥平
所　　　属	電子工学科
指　導　教　員	寺田　晋也（助教）

1.目的

卒研室のサーバを構築する。ファイル共有、遠隔操作、回路シミュレーションできる環境を構築し、快適に運用できるようにする。

2.研究内容

ファイル共有、遠隔操作、回路シミュレーションができる環境を実現するにあたって、図 1 のように使用する PC はルータを経由してインターネットに接続する。ルータとは、ネットワークアドレスの異なる機器を接続するために IP アドレス変換をする機器である。ルータを経由することで、不要な接続のカット、ファイアウォールの機能がありセキュリティを高めることができる。

図 1 ルータを経由したインターネット接続

OS には CentOS を用いる。図 2 に示す GNOME 端末という、Windows でいうところのコマンドプロンプトを用いてファイル共有、遠隔操作、回路シミュレーションができる環境を構築する。

今回 GNOME 端末を用いてソフトをインストールした。yum コマンドとは、目的のパッケージをインストールする際にパッケージ間の依存関係を調べてインストールを行う便利なコマンドである。

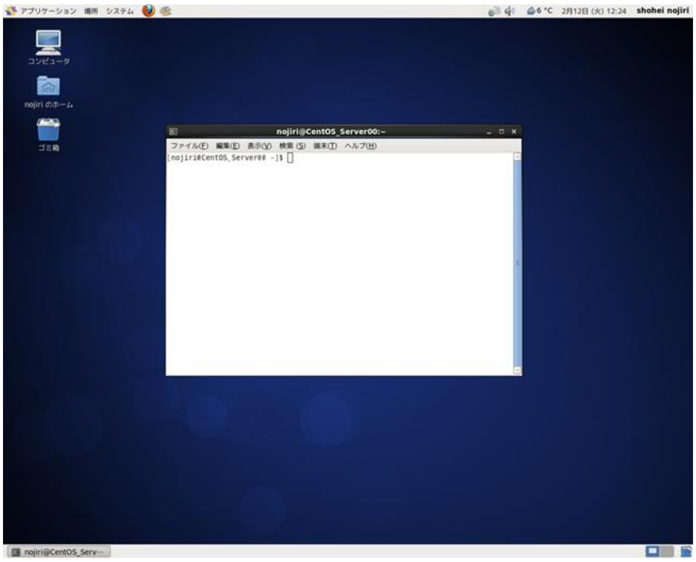


図 2 GNOME 端末

2.1 ファイル共有

ファイル共有とは、図 3 に示すようにフォルダやファイルを作成した PC とは別の PC からもフォルダやファイルを閲覧できる仕組みである。ファイルのやりとりにリムーバブルメディアが不要、受け渡しのために場所を移動しなくても済む、大きなサイズのファイルも簡単に渡せるなどの利点がある。今回、Samba を使用している。Samba とはマイクロソフト社の Windows ネットワークを実装したフリーソフトウェアで、Linux や Mac OS X などの UNIX 系 OS を用いて、Windows のファイルサーバやプリントサービスなどを提供している。

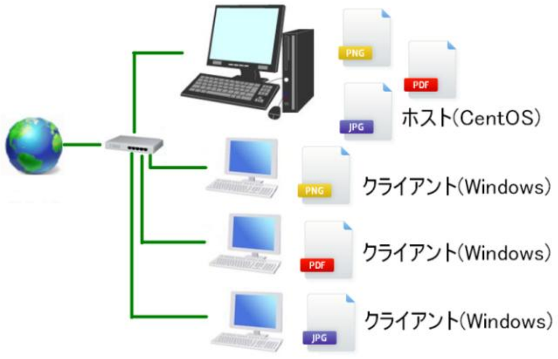


図 3 ファイル共有

2.2 遠隔操作

リモートデスクトップとは、ユーザーの手元にある WindowsPC から、ネットワークで接続された遠隔地の WindowsPC をリモート操作する機能で、別のパソコンにしかインストールされていないアプリケーションを使うことができるなどの利点がある。今回、クライアント側からホスト PC に遠隔操作できる環境を構築した。

図 4 遠隔操作

2.3 回路シミュレーション

CentOS の PC に GNOME 端末から回路シミュレーション(HSPICE)をインストールする。リモートデスクトップを利用して、クライアント側でシミュレーションを行う。高性能 PC1 台にのみシミュレーションソフトをインストールするだけで、複数のユーザーが同時に回路シミュレーションを行うことができる。

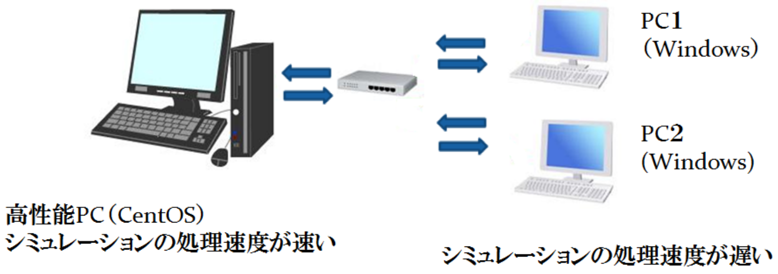


図 3 回路シミュレーション

3.まとめ

サーバを構築することで卒研室のどの PC からもファイル共有、遠隔操作、回路シミュレーションができるようになった。

参考文献：CentOS6 で作るネットワークサーバ構築ガイド　サーバ構築研究会　編著

番号	E-18	発表年月日	平成２５年２月２２日

（題名）CAD・3D プリンターを用いた構造体設計・製作方法の研究
（副題）

研究者（連名者）	緒方　祐太
所属	電子工学科
指導教員	葉山清輝（教授）

1　研究背景と目的

CAD(computer aided design)は、コンピュータを用いて設計をする方法のことである。CAD を用いた設計は、従来の設計方法に比べて速度や精度、柔軟性、管理のしやすさなどで優れている。

CADデータを出力する方法の一つに3Dプリンターを用いる方法があり、現在では製品の試作段階において利用されることがある。しかし、3D プリンターは 1980 年代の開発以来は高価(数百万円)で、主に企業や事業所などでしか利用されていなかった。しかし、ここ数年で安価な 3D プリンターが登場してきており(数十万～数万円)、3D プリンター市場は大規模なものになっていくことが予測される。

私は使いやすいモーターケース製作するために、CAD で設計を行い、3D プリンターを用いて製作することを目的とした。

2　CAD について

まず、設計のためのツールとして 2 種類の CAD を用意した。私が求める条件としては、パーツ設計用の CAD であること、ファイルサイズが小さいこと、無料であること、の 3 つである。

1 つは Wings3D という CAD である。Wings3D の特徴はさまざまな図形が用意されており、その図形を自分の思うように変形させられることである。Wings3D には通常モードと Tweak(微調整)モードがある。Tweak には、「微調整」という意味がある。通常モードだと原型となる図形(例えば立方体や球体など)の選択ができる。図形を変形させることもでき、任意の点や辺、面を選択して切り取ることができる。さらに細かく調整していきたいときは Tweak モードにする。Tweak モードでは、任意の点や辺、面を選択したあとでマウスを動かして微調整することができる。Wings 3D は簡単な図形をもとにした細かいパーツ設計に適しているといえる。

2 つ目に用意したのは OpenSCAD という CAD である。特徴としては、プログラミングによって図形を変形させたり組み合わせたりすることができる。基本的な図形は球体、立方体、円柱の 3 種類と少ないが、これらの図形やプログラミングを組み合わせることによってさまざまな図形を作り出すことができる。また、座標を指定することで図形の位置を決めることができ、図形同士を組み合わせるときに精確に組み合わせることが可能となっている。OpenSCAD は、簡単な図形で構成された部品を作るときには優れている CAD であるといえる。今回私が設計するモーターケースは単純な図形の組み合わせでできているため、OpenSCAD を用いて設計を行った。

そして CAD でデータを作成した後に stl ファイルとして保存し、3D プリンターへ出力することとなる。stl ファイルは、三次元形状を表現するデータを保存する形式の一つである。

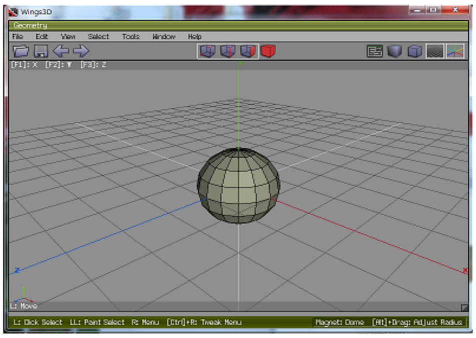


図 1　Wings 3D の画面

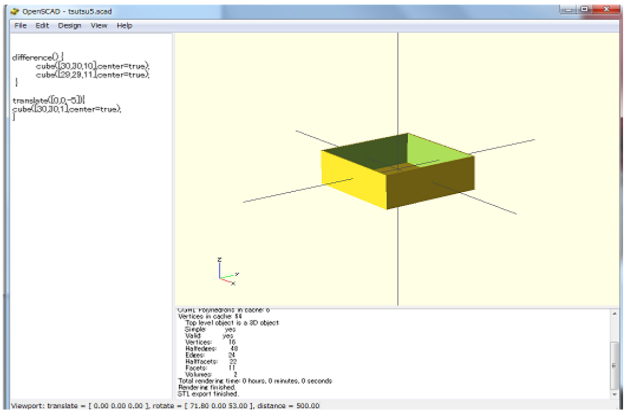


図 2　OpenSCAD の画面

3　3D プリンタとモーターケースの製作

CAD で作成したデータを出力するものとして、私は 3D プリンタを用いた。3D プリンタは比較的安価な UltiMaker という機種を用いた。簡単にプリントの仕組みを説明すると、エクストルーダ(樹脂をモータにより送り出す装置)で樹脂を押し出し、ホットエンド(樹脂を温めて溶かす装置)から溶かした樹脂をプラットフォーム(構造物を作る土台)に出す。そして 3 つのステッピングモータ(ホットエンドやプラットフォームを動かすモータ)を動かし、目標のパーツを作り出す、という仕組みである。

3D プリンタにデータを出力するには gcode ファイルという座標系の設定を行うファイルが必要となる。よって、3D プリンタにデータを出力するには stl ファイルを gcode ファイルに変換する必要がある。変換と出力を行うために、私は ReplicatorG というツールを用いた。gcode ファイルに変換する際、樹脂を溶かす温度やホットエンドの速度を設定できる。作った gcode ファイルを読み込み、Control Panel というホットエンドの位置や温度を調整できる画面を開き、あらかじめ位置や温度の調整をすると作りやすくすることができる。3D プリンタに出力するときは Build というアイコンを押し、出力を開始する。

出力開始から終了までは時間がかかるが、3D プリンターから目を離さないようにしたほうが良い。何か異常が起こるときがあるので、そのときに対処できるようにしておくと良い。

私が今回設計・製作したのはモーターケースである。私が求める条件としては、
①モーターケースとギアボックスを一体化する
②土台に固定しやすく、使い易い形にする
というものである。OpenSCAD で作成したものを図 3 に、3D プリンタで製作したものを図 4 にそれぞれ示す。

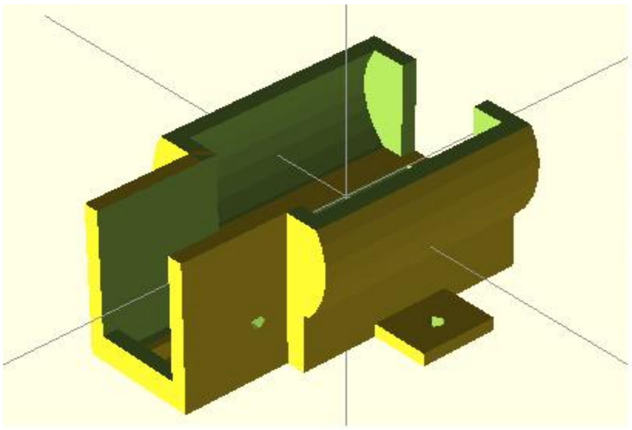


図 3　設計したモーターケース

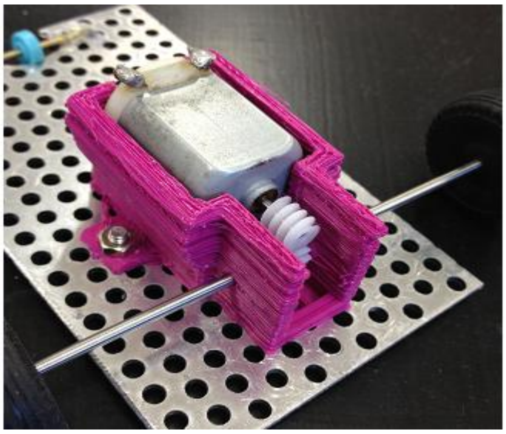


図 4　製作後のモーターケース

今回、一組のギアのみをギアボックスに入れることを想定したので、全体的にコンパクトなモーターケースとすることができた。設計・製作したモーターケースは気軽にモーターの取り付け・取り外しができる、土台との固定が楽にできるなど、使い易いものとなっている。また、外壁を分厚く作ったことで壊れにくくなっている。

4　まとめ

今回、私は CAD と 3D プリンタを使って構造物の設計・製作を行ったことで、設計する力や改良する力が身についた。また、3D プリンタの調子が悪くなることが多かったため、機械整備について考え、実行することができた。

参考文献

・OpenSCAD User Manual/The OpenSCAD Language
(http://en.wikibooks.org/wiki/OpenSCAD_User_Manual/The_OpenSCAD_Language)
・Wings3D Misc Memo(http://brace.client.jp/DOC/wing3d_tuto.html)
・UltiMaker Wiki(http://wiki.ultimaker.com/Main_Page)

番　　　号	E-19	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）　　追従性を高めたセンサ分離型ライントレースロボットの開発
（副題）

研究者（連名者）	福田　尚也
所　　属	電子工学科
指導教員	葉山　清輝（教授）

1.はじめに

現代ではコンピュータ制御された電気機器は当たり前のものになっており、至る所で目にすることができる。そのコンピュータ制御の電気機器に自律型のものがある。「自律型ロボット」とは人間がロボットを操作するのではなく、ロボット自体が自律し動作する。近年では集積回路の技術も発展している。それに伴ってマイコンの性能の向上もみられる。以上より、コンピュータ制御も含む今まで習ってきた専門知識を使い、 興味をもった自律型ロボットについて研究する。

今回の研究では、自律型ロボットの中でも「ロボトレース」と呼ばれるロボット競技に使用されるライントレースロボットを題材として扱う。ライントレースロボットは、自動車型のロボットである。ライントレースロボットを作製する上でマイコンの性能を発揮させるために、正確なハードウェア設計とソフトウェアの細かな制御が必要となる。ライントレースロボットを作製していくうえで、ハード面ソフト面双方の知識をより一層を深め、自律型ロボットを理解する。そして、ハードウェア設計の基礎とロボットの制御について学ぶことを目的とする。

2.ロボトレース競技

ロボトレース競技とは、黒い床に引かれた白いライン（一周 60m 以下）の周回コースをできるだけ早く走行する（トレースする）ことを競う競技である。ライン上を通過し、コースを記録することが基本動作である。基本動作でコーナーに設置されたマーカを利用して直線の長さやカーブを記録し、得たコースの情報や履歴を応用して、次の周回では直線はできるだけ早く駆け抜け、カーブの手前で減速するスピードコントロールする。ロボトレース競技は制御技術の基本を学習する教育効果も高く、学生の教育課題としても注目されている。

3.研究概要

図 1 において、左のロボットをセンサ部と本体部は隣り合って同一となっており、比較的作製が容易である。右のロボットは、モデル①と比較してセンサ部と本体部が離れている。左のロボットをモデル①、右のロボットをモデル②とする。モデル①の場合、センサ部と本体部が隣り合わせになっているため、センサ部がラインを通った軌道を本体部もほぼそのまま通過する。今回の研究で設計・作製するライントレースロボットモデル②の場合を考える。モデル①と違う点は、センサ部と本体部が分離している部分である。この設計の場合、センサ部はモデル①の軌道と同じようにライン上を通過する。しかし、センサ部と本体部は分離していることから、本体部はラインの上を必ずしも通過するとは限らない。以上より、モデル②のロボットの本体部は、ラインをある程度短絡して走行すると考えた。

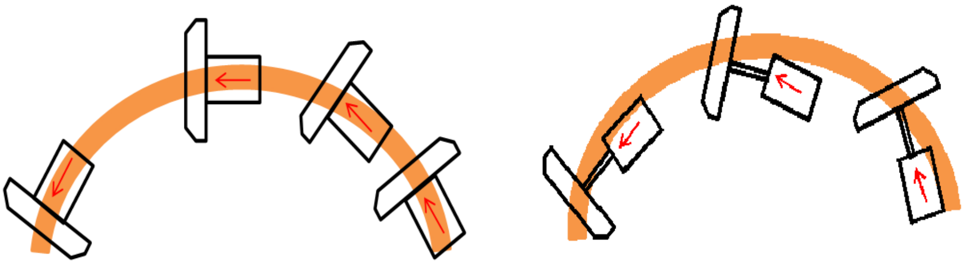
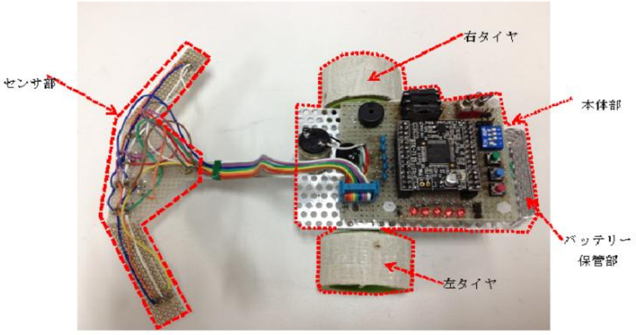


図 1　ライントレースロボット、モデル①（左）とモデル②（左）
本体部とセンサ部の軌道イメージ

実際に、設計し作製したライントレースロボットを図 2 に示す。追従性を高めることを目標として理想的な設計を追及し、デザイン・設計から始めた。まず、ハードウェアの設計・作製から行う。タイヤの作製と検討、車体の設計と作製をした。しかし、ロボット本体の設計するうえで配置にズレが生じ、車体のバランスが崩れるという問題が起きた。この問題には、素子の配置を変更し対処した。



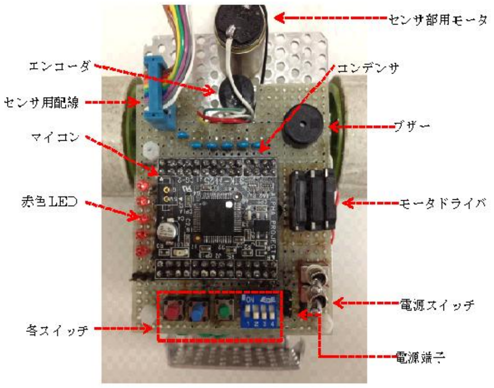


図 2　ライントレースロボット概要図（左）、中枢部（右）

回路設計においては、既存のライントレースロボットをもとに作製を行った。回路を設計し、最終的にライントレースロボットのハードウェア面が完成したが、回路の修正や配線の改善を行った。

回路設計においては幾度も失敗を重ね、回路の修復を何度も行った。

配線に関して複雑かつ入り組んだ回路作成になってしまい、少しでも問題を改善すべく素子の足を活かして配線した。また、回路に逆電流を流してしまうミスがあり、このミスは素子を破壊する、マイコンに書き込めなくなるなど正常に機能しなくなる恐れがあるため気をつけてなければならない。

ハードウェアに関するすべての設計・作製が終わって次第、電源で電流・電圧をかけて各素子の働きや、正常に動作しているかの確認を行った。その結果、タイヤ用モータとセンサ用モータの動作を確認でき、各素子の動作を確認することができた。また、HEW というソフトウェア開発環境を使用しマイコンにプログラムを書き込み、ソフトウェアにおける回路及びモータや LED など各素子の動作を確認した。以上より、回路は完成したといえる。

ソフトウェアに関しては、マイコンのポートの割り当て、名前付けを行った。しかし、プログラムに関してはセンサ部の首ふり動作やモータの制御など、基本的な動作に関わるプログラムの改善が必要である。

4.まとめ

デザイン・設計の過程から行うことは初めてで、とても困難であった。しかし、発生した問題を、工夫し問題解決へと導いた。ハードウェアの作製の観点から、設計通りに作製することができた。また、ハードウェア作製における基本的作業を経験でき、習得した。回路の設計・作製において、回路作製のミスや起動時のミスが生じた。1 つのミスが連鎖していったため、今後注意したい。

回路作製後、動作を確認できたため回路は完成したといえる。しかしソフトウェアについて、あまり手に付けることができず悔やまれる。回路の動作確認を行うことができたが、完璧に走行するまでには至っていない。これはプログラミング技術の未熟さもあり、技術の向上が必要である。ソフトウェアの改善は一番の改善点であり、これは来年以降に期待したい。

5.参考文献

[1]町田秀和, “いまからはじめる電子工作”,pp.234-237,オーム社,2006 年
[2]島津春夫, “実践作りながら学ぶマイコンラリー”,pp.30-62.269-274 ,電気新聞社,2008 年

番　号	E-20	発表年月日	平成２５年２月２２日

（題名）自律帰還型飛行体に関する研究
（副題）

研究者（連名者）	藤井　駿
所　属	電子工学科
指導教員	葉山　清輝（教授）

1.研究背景

近年、日本各地で確認されているゲリラ豪雨や竜巻といった異常気象が問題になってきている。これらを事前に予測し警告を出さければならないが、予測するためには広範囲にわたる気象データが必要となってくる。現在使われている方法として、ヘリコプターを使った有人飛行、RC を使った方法、気象レーダーを使った方法がある。都市部では RC は人的被害の可能性があるので気象レーダーを使う方法が確立され、運用されている。しかし、観測方法が確立されていない場所においての運用を考える場合、前述のような方法ではコストが高く、ヘリコプター、RC 操縦の習熟が必要となる。そこで、本卒業研究のテーマを自律で観測、帰還し繰り返し使える飛行体に関する研究とし、従来の方法に変わり補完できる飛行体を考えた。

2.ハードウェア設計

自律し帰還させる飛行体に求められる条件である“低コスト・丈夫な構造・安全・環境負荷の低減”を実現するために、構造が簡単で強度が強い三角翼を採用し製作した飛行体を図 1 に示す。万が一人や建物に衝突したときに安全が確保できるためにも柔く、軽量な素材が求められる。そこで素材にはカッターナイフでも加工が可能なポリスチレンを使用した。また頭脳となるマイクロコンピュータには自作した Arduino を使用し、コストを市販品の 1/4 まで落とすことができた。その要因の 1 つとして、市販品の Arduino 各ボード上にはシリアル変換機が搭載されておりその部品分の価格が上昇してしまう。だが、自作した場合には 1 つのシリアル変換機を複数のボードで共有するため、その分価格を抑えることができる。

さらに運用する際、本飛行体にはプロペラといった推進力を得るものがなく、グライダーのように滑空して下りてくるので、機首が常に下を向いておく必要がある。よって図 1 に示すように各部品を前寄りに配置、最も重いバッテリーを機首部分に搭載することで重心が前方となるものを製作した。

表面

裏面

図 1　製作した機体

また、ジャイロセンサと加速度センサが一体となった 6 軸センサ、GPS を搭載することで、飛行体の傾きや加速度、現在地の緯度、経度、高度の各値が得られ、そのデータを基にして姿勢制御を行った。

3.ソフトウェア設計

まず行った制御は、搭載した加速度センサから現在傾いているステップ角（0°から 90°の範囲を 260 のステップで値を取っている）を計測、サーボに書き込むために角度に変換し、その値を飛行体がやや前のめりになる角度を維持する制御を行った。図 2 はグライダーが滑空する様子を示した。

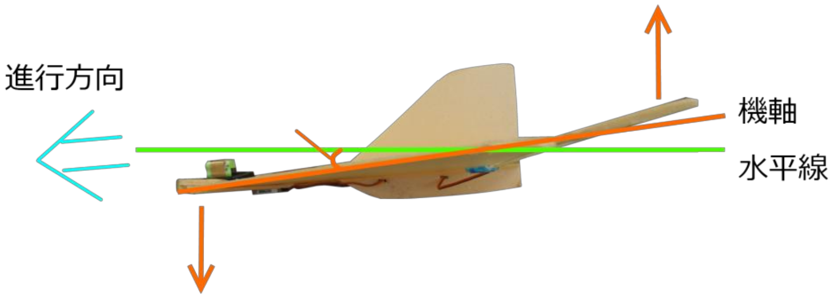


図 2　飛行体を横から見たときの滑空する様子

これを飛行させると、飛行体が波のように上下した。飛行体が下を向いている時、上に向くよう角度を補正するが、今度は行き過ぎてしまい次は下に向きに角度を補正するといった単振動のような現象が起きていた。これでは斜めの角度を維持できず、飛行距離が短くなってしまう。

この振動を抑えるために自動制御方式である PID 制御を行った。だが今度は、尾翼のばたつきが発生するようになった。この原因として積分制御が考えられた。積分制御は偏差を足していき、その値に比例して操作量を加えている。よって、手に持っている（電源を入れた）時点で偏差の蓄積を行っており、飛行中にその影響が出てしまっていた。そこでの *Ki*：積分係数を 0 とすることで、PD 制御を行い、ばたつきを抑えることができた。

また、帰還させるためには現在地の情報を取得し、指定した座標に戻るような制御を加えなければならない。GPS にて現在の緯度、経度、高度の情報を衛星から取得し、それを制御に加えるようにした。ここで注意しなければならないのは、電源を切ってしまうと、GPS がどの衛星を捕捉しているかなどの基本情報が失われてしまうため、経度などを出力するのに時間がかかってしまうため、マイコンのメモリ上に GPS の基本情報のログを残す必要がある。これは、EPROM（不揮発性メモリ）のライブラリを利用することで解決できた。気象データもこれに格納することで、回収した際に、情報を読み取ることができる。

4.観測方法

(1) 飛行体は滑空するグライダーのような運用であるため、気球やヘリコプター等で上空に持ち上げる。
(2) 指定高度に達したら、飛行体を切り離す。
(3) 切り離すと飛行体は滑空、温度等の気象データ等を採取する。
　また GPS にて現在の緯度、経度、高度のデータを取得、それを基にして指定した座標に来るよう制御する。
(4) 回収した飛行体から、マイコンのメモリ上にあるログを読み取り、気象データを得る。

5.研究結果

Arduino にてプログラミングを行い、PID 制御、GPS 受信の動作を確認した。しかし、気球によって持ち上げて、飛ばす段階まで進むことができなかった。この要因として、飛行体のばたつきがあった。このばたつきを抑えるためのプログラムを書くのに最も時間を費やしてしまった。

6.まとめ

比例制御だけでは、機体が波のように上下し、PID 制御でばたつき、PD 制御で安定して飛行することができた。また GPS からは、緯度、経度、高度の情報を得ることができ、テストの際には、Google Map にてマッピング箇所を確認したところ、まったくずれがない場所を示していた。

9.参考文献

[1]　Massimo Banzi, 船田巧 訳,「Arduino をはじめよう」, オライリー・ジャパン, 2010 年
[2]　森泰親,「演習で学ぶ基礎制御工学」, 森北出版, 2011 年
[3]　システム制御情報学会, 「PID 制御」, 朝倉書店, 1993 年

番　　号	Ｅ－２１	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）　マルチローターヘリの制御用ソフトウェアに関する研究
（副題）

研 究 者 （ 連 名 者 ）	吉村 圭一郎
所　　属	電子工学科
指　導　教　員	葉山 清輝（教授）

１．序論

近年，遠隔操作ロボットや自律型ロボットが様々な分野において注目されている．事故や災害時に人が立ち入ることができない場所に入って映像を記録するロボットや，商業施設・オフィスビル内を巡回して警備するロボットなどがある．これらの大半は地上を移動するものであり，空中において同様のことを行うのは容易ではない．そこで，空中での静止や水平・垂直移動など，観測に適した飛行が可能であるマルチローターヘリに注目した．

本研究では，オープンソースのマルチローターヘリ制御プラットフォームを用いて，マルチローターヘリを設計・製作し，その制御手法とソフトウェアについて研究する．

２．マルチローターヘリについて

マルチローターヘリは，複数の回転翼から構成されるヘリコプターである．それぞれの回転翼にモーターが直接接続される形となっており，全モーターの出力を増減させることで垂直移動，各個制御して機体を傾けることで水平移動する．この複数の回転翼からなる構成をとることで機体の構造に機械的な部分をなくすことができ，軽量化や高信頼化が期待できる．

今回は機体のサイズや重量，搭載するセンサー装置などを考慮したうえで，クアッドコプターを実際に設計・製作した．

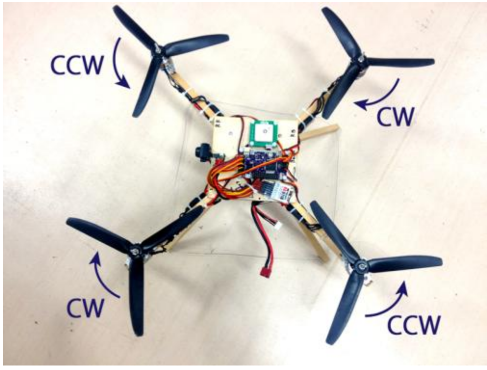


図１．プロペラの回転方向と反作用の方向

４枚の回転翼は図１のように，時計回り(CW/ClockWise)と反時計回り(CCW/Counter-ClockWise)のものを対称に配置した．通常のシングルローターヘリでは，回転翼が１枚であるため，反作用によって機体が回転し，これを抑えるためにテールローターを用いている．しかし，クアッドコプターでは時計回りと反時計回りの２種の回転翼を対称に配置し，それぞれの回転翼が発生させる反作用を互いに打ち消し合わせ，均衡させることにより機体が回転することを防いでいる．

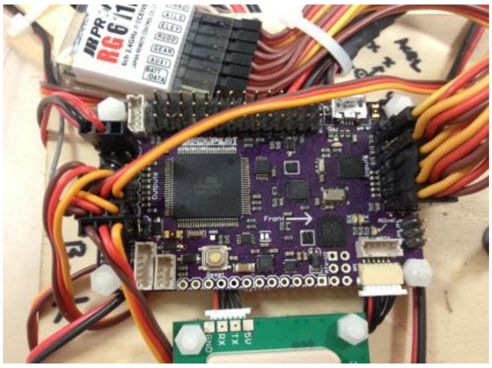


図２．制御ボード ArdupilotMega

制御ボードには，オープンソースのマルチローターヘリ制御プラットフォームである ArduPilotMega を利用した．これは，加速度・ジャイロ・地磁気センサー，GPS など，複数のセンサーを搭載した制御ボードと，その制御ソフトウェアからなっている．

マルチコプターを制御するための制御ボードは前述のようなセンサーに加え，モーターを駆動させる為に必要なアンプ（ESC）や無線コントローラーの受信機などを接続し，それらの信号を処理・制御する機能が求められる．センサーは I2C ， SPI といったシリアル接続やパルス幅変調方式によるアナログ接続によって制御ボードに接続される．

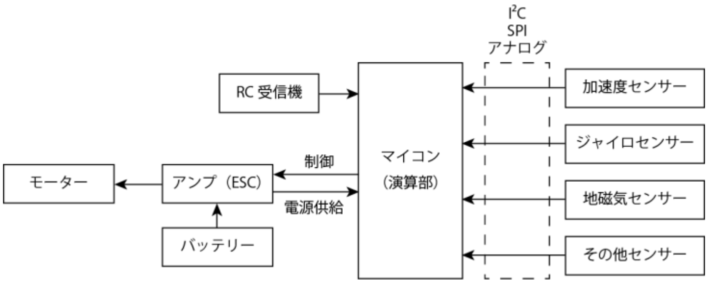


図３．制御ボードに求められる構成

３．制御手法および制御ソフトウェア

クアッドコプターの機体を構成する部品には重量や性能に僅かなバラツキがあるため，無風の空間であったとしても，機体自体から生じるバランスの偏りによって機体は安定しない．また，横風や地面効果などの物理現象によって生じる機体のバランスの変化，外乱も考慮する必要がある．これらを考慮して機体を垂直移動・水平移動，空中で静止させるために，機体に生じる変化をセンサーで常に監視し，変化と逆の方向に推力を発生させて安定化する PID 制御を用いる．

加速度・ジャイロセンサーで得られる加速度・角速度（フィードバック値）の変化を目標値から引いた偏差値に比例係数を掛け，これを元に回転翼の制御を行う．しかし，これではヘリコプターなどの機体に発生する空気抵抗が小さいものでは，超えた目標値に対する抑えの力が減衰せず，目標値に収束しにくくなる．これが機体の振動に繋がり，最終的にはバランスを崩して墜落してしまう．そこで，P 制御に I（積分）成分，D（微分）成分を入れることで P 制御を補完する．

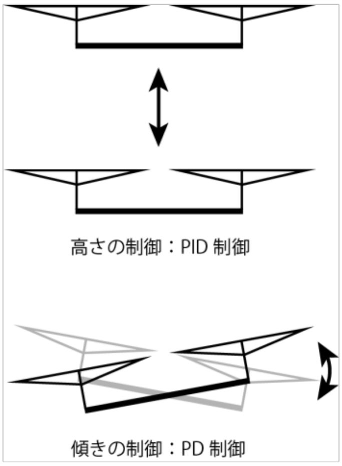


図４．高さ・傾きに応じた制御

I 成分は，目標値に達するまでに発生する残留偏差を解消するが，ヘリコプターなどの急激に推力の変化が生じやすいものでは，蓄積時間分の遅延が発生し，応答性能に悪影響を及ぼす．D 成分は，偏差値の変化速度に比例した修正を入れることで，急激な変化に対する抑えの効果を持っている．これらのことから，機体の傾きや振動を抑えるには PD 制御，重力に反して機体を持ち上げる高さ方向への移動には PID 制御という選択が必要である．

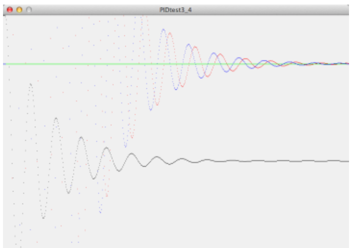


図５．PD 制御のシミュレーション

この PD 制御，PID 制御で特に重要となるのは，各成分の係数である．最適な値ではない場合，機体は安定性を欠き，墜落やそれに伴う機体の破損を招く恐れがある．そこで，PD 制御，PID 制御で飛行体が空間上を移動・静止するときのシミュレーションを Java ベースの統合開発環境 Processing で行った．

４．飛翔体向け汎用制御ボードの設計

ここまで，オープンソースの ArduPilotMega を用い，クアッドコプターの姿勢制御について，その制御手法を学び，解析を行ってきた．そこで，これを元にして安価で様々な形式の飛翔体に搭載できる汎用制御ボードとその制御用ソフトウェアの開発を行った．これには，飛翔体の飛行に必要な最低限の加速度・ジャイロ・地磁気センサーを搭載し，飛翔体の飛行環境や必要機能に応じて GPS や超音波センサーなどを追加できる拡張性を持たせている．

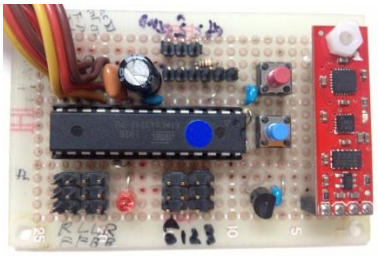


図６．製作した汎用制御ボード

５．結論

クアッドコプターを設計・製作し，制御ボード ArduPilotMega を用いて実際に飛行させることで，マルチローターヘリの機体に生じる物理現象の確認や姿勢制御の手法，制御ソフトウェアについて検討，解析を行った．

マルチローターヘリの安定化に欠かせない PID 制御について，加速度・ジャイロセンサーを利用した制御ソフトウェアの実装手法を検証し，また，Processing によるシミュレーションによって比例係数，積分係数，微分係数が安定化に強く影響していることを確認した．

これらの検証・解析結果より，マルチコプターなどの飛翔体で利用できる制御ボードの設計・製作，制御用ソフトウェアの開発を行った．

６．参考文献

[1] システム制御情報学会 編，システム制御情報ライブラリー PID 制御，朝倉書店，pp2-12
[2] 森秦親 著，演習で学ぶ基礎制御工学，森北出版株式会社，pp126-129
[3] 山根彰 著，AVR マイコン・リファレンス・ブック，CQ 出版株式会社，pp159-166
[4] 田原淳一郎 著，Processing プログラミング入門，株式会社カットシステム，pp26-31

番　　号	E―２２	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）　基板温度変化が Ga_2O_3 の結晶性に及ぼす影響
（副題）

研究者（連名者）	皆見憲亮
所　属	電子工学科
指導教員	高倉健一郎(准教授)

1. はじめに

今日，ITO を主流とする透明電極市場は着実に成長を続けている．しかし，ITO の主原料である In の資源枯渇および価格高騰が懸念されており，In の代替材料の研究開発が進められている．現在研究されている代替材料の 1 つとして，β-Ga_2O_3 が挙げられる．Ga_2O_3 には（$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$）なる 5 つの相状態があるが，その中でも$\beta$相は高温において安定相である．また一般に，$\beta$相以外の準安定相（$\alpha, \gamma, \delta, \varepsilon$）は，高温熱処理により$\beta$相に転移する[1]．$\beta$-$Ga_2O_3$ は，他の透明電極材料と比べて，バンドギャップが約 4.9 eV と広く，紫外域における光利用において大きなアドバンテージを持つ．更に，ドーパントを選ぶ事により電気伝導性を向上させる事も出来るため，β-Ga_2O_3 は透明電極材料として使用出来る可能性がある[2]．そこで本研究では，Ga_2O_3 薄膜の成膜方法としてスパッタ法を用いて行った．

β相を得るには，堆積後に熱処理を加える手法がある．先行研究ではこの堆積後に熱処理を加える手法を用いて β-Ga_2O_3 の成膜を行っていたが，これは堆積と熱処理の２つのプロセスが必要である[3]．そこで，堆積と熱処理の単一プロセスにより生産性向上を図れると考えた．したがって，本研究では更新したスパッタ装置を用いて高温堆積による堆積･熱処理同時プロセスにより，良質なβ–Ga_2O_3 薄膜の形成を目的とする．

2. 実験方法

本研究では目的である高温堆積した試料および比較対象試料として室温堆積後に熱処理した試料の作製を行った．高温で堆積した試料の作製条件としては，堆積温度を RT～500℃，Ar : O_2 混合雰囲気(6 : 4)とし，大気圧中で 30 分間，膜厚が約 100 nm になるように成膜を行った．また，比較対象である室温堆積後に熱処理をした試料の作製条件として，室温堆積後， N_2 雰囲気で熱処理温度を 400℃，500℃とし，熱処理を 15 分間行った試料をそれぞれ用意した．試料の評価には，SEM を用いて結晶構造評価， XRD により結晶性評価，EDX により組成分析をそれぞれ行った．

3. 実験結果および考察

本節より，室温よりも高温で堆積した試料を sample A，室温堆積後，熱処理した試料を sample B と表記する．また，堆積温度を T_d，熱処理温度を T_a とする．

図 1 に(a) sample A(T_d=500℃)，(b) sample B(T_a=500℃)の断面 SEM 像を示す． 500℃で成膜した試料の断面 SEM 像(a)では，10 nm 程度の結晶粒を確認できた．Sample B(Ta=500℃)の断面 SEM 像(b)では，20 nm から 60 nm 程度の結晶粒が確認できる．したがって，Ga_2O_3 薄膜は熱処理を加えることで結晶化している．また，sample B の方が sample A に比べ結晶化していることは明らかであり，Ga_2O_3 薄膜を結晶化させる方法としては堆積後の熱処理が有効である．

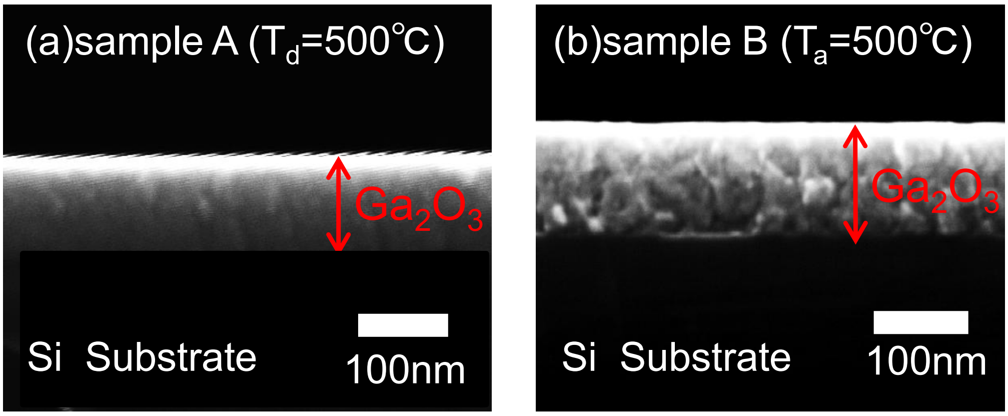


図 1. (a) sample A(T_d=500℃)，(b) sample B(T_a=500℃)の断面 SEM 像

図 2 に XRD による結晶性測定結果を示す．SEM 像より sample A，B ともに構造が変化している可能性があるため XRD により結晶性の調査を行った．図 2 に sample A，図 3 に sample B の XRD (2θスキャン)測定結果を示す．図 2 において，室温で成膜した試料の XRD パターンからは，回折ピークを確認する事が出来なかった．したがって，室温成膜した試料は，非晶質であると推察される．一方 sample A の XRD パターンでは，いずれも，30°から 40°にかけて，ブロードなピークを確認できる．したがって， T_d 上昇に伴い，結晶化が進んでいると考えられる．一方，sample B(T_a=400℃)の XRD パターン(図 3)では γ 相に起因するピークを確認できる．更に，sample B(T_a=500℃)の XRD パターンでは，β 相及びγ 相に起因する回折が観察できる．よって，sample B(T_a=500℃)では，β 相とγ 相の混相である．以上の結果より，基板加熱による成膜では，目的とするβ 相を得られなかった．原因としては， sample A においては T_d 上昇に伴い雰囲気である O_2 が反応しやすくなり O_2 濃度が上昇し組成が変化した可能性が考えられる．そこで，EDX による組成分析を行った．表 1 に各試料における EDX による組成分析結果を示す．表 2 より sample A(T_d=RT，500℃)および sample B(T_a=500℃)はいずれも組成比に大差はないので、熱処理時の雰囲気は組成に影響を及ぼさないことがいえる．また sample A は前節の XRD 測定結果より結晶化していることが確認できたが，sample B に比べ結晶化速度が遅いのは明らかである．この原因としては，熱処理時の雰囲気である O_2 が結晶化速度を遅くしているためだと考えられる．

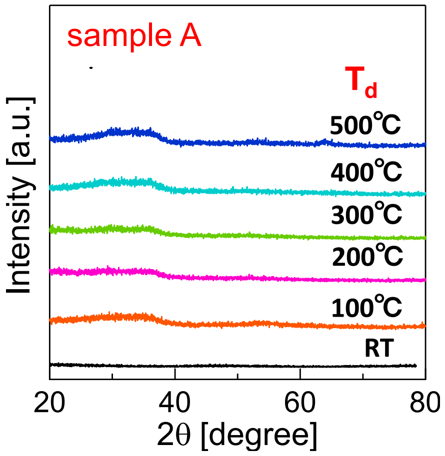


図 2. sample A　XRD 測定結果

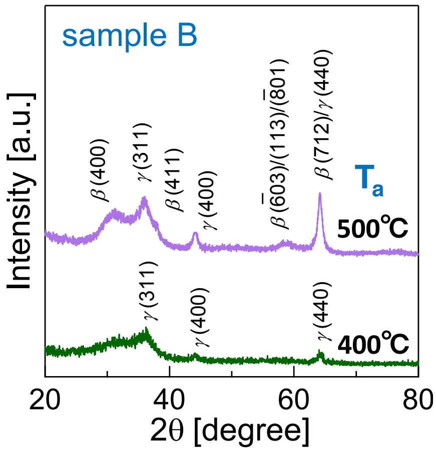


図 3. sample B　XRD 測定結果

表 1. EDX による組成分析結果

	sample A (T_d=RT)	sample A (T_d=500℃)	sample B (T_a=500℃)
O[%]	73.44	71.01	71.09
Ga[%]	26.56	28.99	28.91
合計[%]	100	100	100

4. まとめ

本実験では，Ga_2O_3 堆積時の基板温度とβ 単相 Ga_2O_3 形成との関係を知ることを目的とし，堆積，評価を行い，Ga_2O_3 薄膜の成膜条件で明らかとなった事柄について述べる．

SEM，XRD の測定結果より，sample A においては結晶化が進んでいることを確認することができたが，目的とするβ 相を得ることはできなかったが， sample B ではβ 相とγ 相の混相を確認することができた．この原因としては雰囲気である O_2 によるものだと考えられた．そこで EDX による組成分析を行なった．組成分析結果から組成の変化は見られなかった．この結果より熱処理時の雰囲気である O_2 は結晶化を遅らせているのではないかと推察できる．結晶化速度を遅くすることで，より良質なβ 相を得られる可能性がある．したがって，O_2 圧力を調整し，高温堆積することにより O_2 が結晶化速度に与える影響について調査し，良質なβ 相の生成を目指す．

5. 参考文献

[1] R. Roy *et. al*., Polymorphism of Ga_2O_3 and the system Ga_2O_3–H_2O, J. Am. Chem. Soc, 74, 719-722, (1952).
[2] N. Ueda *et. al*., Synthesis and control of conductivity of ultraviolet transmitting β-Ga_2O_3 single crystals, Appl. Phys. Lett., 70, 3561-3563, (1997).
[3] M. Takahara, *et. al*., Improvement of the Crystalline Quality of β-Ga_2O_3 Films by High-Temperature Annealing, Materials Science Forum, 725, 273-276, (2012).

番　号	E-23	発表年月日	平成 25 年 2 月 22 日

（題名）電子線照射前後のひずみ Si MOSFET の特性評価
（副題）

研究者（連名者）	堀 眞聡
所　属	電子工学科
指導教員	高倉健一郎（准教授）

1. はじめに

近年の集積回路は，主に Si-MOSFET で構成されている．Si-MOSFET の性能向上は，素子寸法の微細化によって実現されてきた．しかしながら，微細化技術のみを用いて Si-MOSFET を高性能化させる方法には物理的な限界が迫りつつある．従って，微細化技術に加え，チャネル材料の改革が必要となっている．

このような背景のもと，注目されているチャネル材料の一つに，Si に応力が印加され，結晶構造にひずみが導入されたひずみ Si がある．ひずみを導入することで，Si のバンド構造に変化が生じ，キャリア移動度が増加する [(1)]．

ひずみ Si を MOSFET のチャネル部分に形成するために，ソース/ドレイン部分の Si に少量の炭素(C)を加え，チャネル部分の Si との格子定数の違いによって生じる応力を利用している．この応力によって，チャネル部分の Si にひずみが導入され，キャリアの移動度は増加する．

さらに近年，半導体の利用範囲は地球上だけでなく，宇宙空間にある人工衛星や宇宙ステーションにまで及んでいる．しかしながら，宇宙空間には電子線や陽子線，中性子線といった放射線が過剰に存在しているため，半導体デバイスに導入される欠陥により，特性に劣化が生じる[(2)]．よって，宇宙空間において半導体デバイスを使用する際には，デバイスへの放射線照射による影響を考慮する必要がある．

本研究では，ソース/ドレイン領域に C を添加し，Si チャネル部にひずみを印加することで性能向上を狙った n 形のひずみ Si MOSFET を，人工衛星や宇宙ステーションなど放射線が過剰に存在する宇宙で利用することを想定し，ひずみ Si MOSFET への電子線照射による影響を電気的特性の観点から評価することを目的とした．

2. 実験方法

評価試料は，共同研究を行っている imec（Interuniversity Microelectronics Center）が作製した n 形のひずみ Si MOSFET を用いた．チャネル長とチャネル幅はそれぞれ 0.25 μm と 10 μm，ゲート酸化膜は膜厚 1.5 nm である．

この試料に，日本原子力研究開発機構・高崎量子応用研究所の電子加速器を用いて電子線照射（加速エネルギー : 2 MeV，照射温度 : 室温）を大気中にて行った．ここで，電子線の照射量は $1x10^{16}$ e/cm^2 および $1x10^{17}$ e/cm^2 とした．電子線照射後のひずみ Si MOSFET の評価は，伝達特性により行った．伝達特性は，ドレイン電圧を 0.5 V 印加しながらゲート電圧を－0.5 V～1.2 V までステップ電圧 0.01 V で変化させてドレイン電流を測定した．

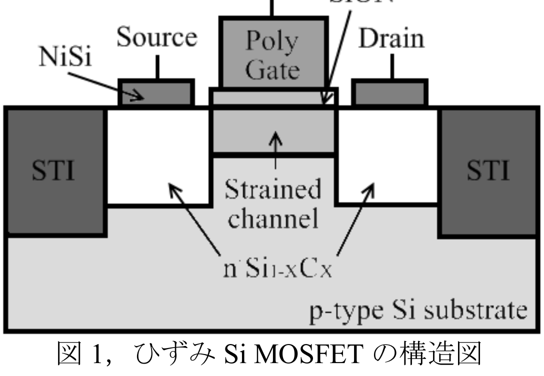


図 1，ひずみ Si MOSFET の構造図

3．実験結果及び考察

電子線照射前後のひずみ Si MOSFET の伝達特性を図 2 に示す．電子線照射前におけるひずみ Si MOSFET（図 2 中実線）では，C 添加によってドレイン電流が増加していることが確認できる．これは，ソース/ドレインへの C 添加によりチャネル部分の Si にひずみが加わったことが原因と考えられる．一方，電子線照射後におけるひずみ Si MOSFET（図 2 中破線）では，電子線照射によって，チャネル部分の Si に結晶欠陥が生じたことに起因するドレイン電流の減少が確認できる．

続いて，伝達特性より，電子線照射前後におけるひずみ Si MOSFET の最大電子移動度を算出し，C の関数として図 3 にまとめた．図 3 より，電子線照射前におけるひずみ Si MOSFET の最大電子移動度は，C の添加によって増加していることが確認できる．これは，ドレイン電流と同じく，ソース/ドレインへの C 添加によりチャネル部分の Si にひずみが加わったことが原因と考えられる．また，電子線照射後におけるひずみ Si MOSFET の最大電子移動度は，電子線の照射による減少が見られた．しかしながら，電子線照射前におけるひずみ Si MOSFET（図 3 中実線）より，電子線照射後におけるひずみ Si MOSFET（図 3 中破線）の最大電子移動度は高くなっている．以上の結果から，C を添加してチャネル部分の Si にひずみを加えることによる移動度の増加は，電子線照射によって，チャネル部分の Si に発生した結晶欠陥に起因する移動度の減少よりも大きくなることが分かる．

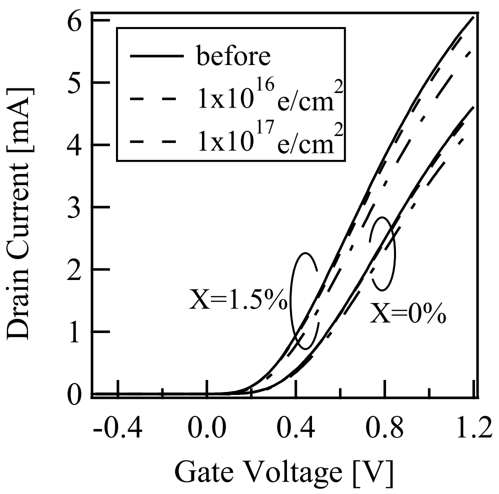


図 2，電子線照射前後の伝達特性

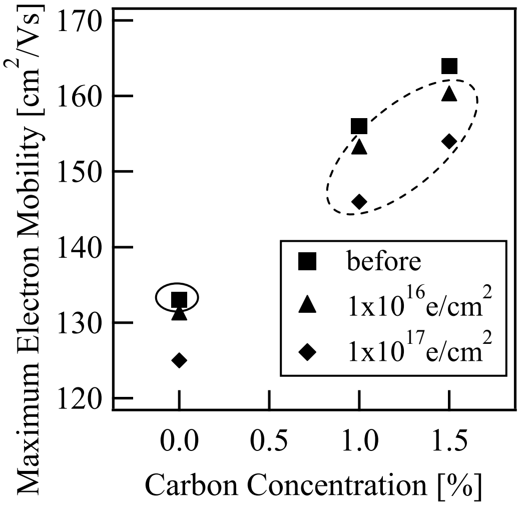


図 3，電子線照射前後の最大電子移動度

4．まとめ

本研究では，MOSFET のソース/ドレインに少量の C を加えることにより，チャネルにひずみ Si を導入したひずみ Si MOSFET に与える電子線照射効果を電気的特性の観点から評価した．

電子線照射前においては，ソース/ドレインへの C 添加によりチャネル部分にひずみが形成されたため，ドレイン電流，最大電子移動度が増加した．ひずみ Si MOSFET に電子線照射を行うと，電子線照射量の増加に伴い，チャネル部分の結晶欠陥が増加したため，ドレイン電流，最大電子移動度が減少した．また，C を加えたことによる移動度の増加は，電子線照射による減少を上回ることを確認した．

5．参考文献

(1) 高木信一，“微細化せずにトランジスタの性能を上げるには”，Challenge of Intelligence for Future BREAK THROUGH，pp.12－17（2001）．

(2) 大西一功，松田純夫：半導体素子に対する放射線照射効果，電子情報通信学会誌 Vol.85，No.9，pp.662-669，(2002).

番　　　号	E－２４	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）$Si_{1-x}Ge_x$ S/D p-MOSFETs の照射導入欠陥が電気特性に及ぼす影響
（副題）

研 究 者 （ 連 名 者 ）	月井千尋
所　　　属	電子工学科
指　導　教　員	高倉健一郎（准教授）

1.はじめに

能動素子として電子機器に多く組み込まれている Si-MOSFET はゲート酸化膜の薄膜化や，ゲート長の縮小といった比例縮小によって性能を向上してきた．しかし，これらの手法には物理的限界が迫っている．特にゲート長の縮小では，しきい値電圧の低下や，ドレイン電圧による空乏層がソース側の空乏層がつながりパンチスルー状態になるといった問題が生じている(1)．このような状況下で Si-MOFET の性能を向上させるためには新たな指導原理が必要である．

そのための手法の一つとして，ひずみ Si をチャネル材料として利用することで，チャネルの移動度を向上する方法がある．ひずみ Si は，Si と格子定数の異なる半導体材料を接合することによって Si の界面にひずみを生じさせ，Si と比較してキャリアの移動度が向上できる．その中でも SiGe と Si の格子定数の違いを利用したひずみ Si が注目されており，Si-MOSFET の応用デバイスとしてソース／ドレイン(S/D)部に SiGe を埋め込み，チャネルにひずみを加える方法が，新たな MOSFET 高性能化の手法として期待されている(2)．また，ひずみ Si を利用し高性能化した MOSFET では，チャネル部への応力を変化させる要因の一つとなるゲート長を変調した場合の特性を評価する必要がある(3)．

一方，半導体デバイスは放射線環境下での利用が拡大している．重量，空間，電力に制限がある宇宙開発では，特に高性能化した半導体デバイスの需要が高い．しかし，宇宙のような劣悪な放射線環境下では，デバイスの構成物質と放射線の相互作用により結晶欠陥が生じ，特性が劣化することが知られている(4)．劣悪な放射線環境下であっても地上と同様な動作を実現するためにも，半導体デバイスの放射線損傷を評価し，放射線耐性に優れたデバイスを開発することが重要となっている．

そこで，本研究では，ゲート長を変調した SiGe S/D p-MOSFET に電子線を照射し，照射導入欠陥がデバイスに及ぼす影響を電気特性の観点から評価した．

2.実験方法

研究対象素子として，現在共同研究を行っている imec (Interuniversity Microelectronics Center) が作製した $Si_{1-x}Ge_x$ S/D p-MOSFET (図 1)を用いた．ソース／ドレイン部に SiGe を埋め込んでおり，Si 基板と SiGe の格子定数差による圧縮応力がチャネル部に加わることで，ひずみを導入している．ゲート長は 0.21 μm，0.25 μm，0.3 μm および 1 μm とし，ゲート幅は 10 μm，ゲート酸化膜は膜厚 1.5 nm，Ge 導入量は x=0，0.3 である．

電子線照射は，日本原子力開発機構高崎量子応用研究所の電子加速器(加速エネルギー：2 MeV)を用いて行った．照射量は $5x10^{17}$ e/cm^2 とした．電子線照射前後の $Si_{1-x}Ge_x$ S/D p-MOSFET の評価は，

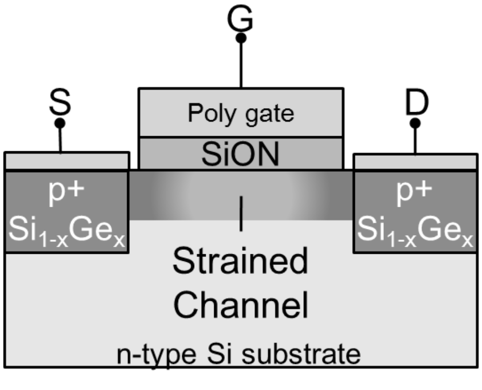


図 1. $Si_{1-x}Ge_x$ S/D p-MOSFET の構造図

伝達特性を元に最大正孔移動度を算出した．伝達特性測定は，ドレイン電圧を－25 mV 一定とし，ゲート電圧を－0.5 V～1.2 V まで 0.01 V ステップで変化させた．

3.実験結果及び考察

電子線照射前後の最大正孔移動度μ_{pmax}のゲート長依存性を図 2 に示す．電子線照射前は，Ge 導入の有無に関わらず，ゲート長の縮小に従って最大正孔移動度が向上している．これは，短チャネル効果により，ソースからドレインへの電界が，チャネルのキャリアを加速させたことに起因する．また，Ge 導入及びゲート長縮小によって最大正孔移動度の向上が顕著となり，チャネル部への圧縮応力増大を確認できる．電子線照射後は，Ge 導入の有無に関わらず，各ゲート長の最大正孔移動度が減少しており，電子線照射によって，結晶欠陥が生じチャネル部に影響を及ぼしていることを示唆している．

さらに，電子線照射による各ゲート長の最大正孔移動度の変動率を図 3 に示す．最大正孔移動度の変動率$\Delta\mu$は，電子線照射後の最大正孔移動度μ_{after}，電子線照射前の最大正孔移動度μ_{before}とし，(1)式から算出した．

$$\Delta\mu = \frac{\mu_{after} - \mu_{before}}{\mu_{before}} x100 \qquad (1)$$

各ゲート長において，最大正孔移動度の変動率は Ge 導入の有無に関わらずほぼ一様となった．サンプルの差異は，Ge 導入の有無だけであり，電子線照射による影響は同様であったと考えられる．したがって，チャネル部への圧縮応力維持を示唆している．

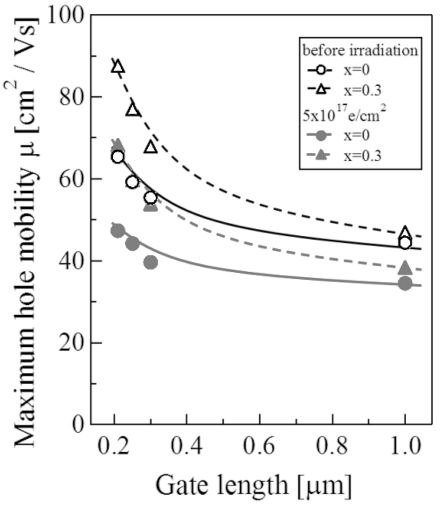


図 2. 最大正孔移動度のゲート長依存性

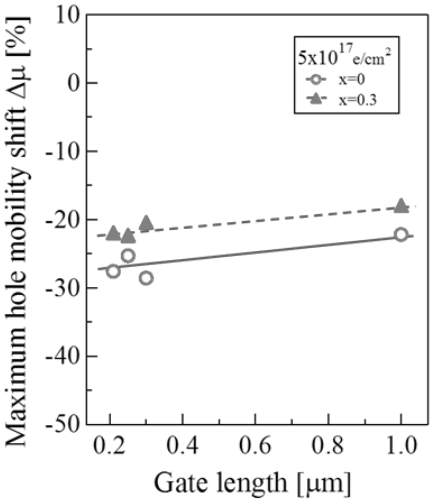


図 3.各ゲート長の移動度の変動

4.まとめ

Ge 導入の有無に関わらず，全ゲート長における最大正孔移動度の変動率は，ほぼ一様であったことから，電子線照射によりチャネル部へ欠陥は導入されたものの，ソース／ドレイン部に埋め込んだ SiGe が，チャネル部へ及ぼす圧縮応力は全ゲート長で維持していることを示唆している．

5.参考文献

(1) 垂井康夫　著，“半導体デバイス 改訂版”，電気学会，pp.170- 172 (1999)
(2) 田村直義，“45nm 世代向けローカルひずみ技術と 32nm 世代への展望”，応用物理　第 76 巻 第 9 号，pp.1013-1016 (2007).
(3) Chi-Chao Wang，Wei Zhao，Frank Liu，Min Chen，Yu Cao，“Compact Modeling of Stress in Scaled CMOS”，Simulation of Semiconductor Processes and Devices, 2009. SISPAD '09. International Conference on，pp.1- 4 (2009).
(4) 大西一功，松田純夫，“半導体素子に対する放射線照射効果”，電子情報通信学会誌 Vol.85 No.9, pp.664-666 (2002).

番　　　号	E－２５	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）　民生電子デバイスの耐放射線評価

（副題）

研 究 者 （ 連 名 者 ）	米倉拓也
所　　　属	電子工学科
指　導　教　員	高倉健一郎(准教授)，角田功(准教授)

1. はじめに

今日，トランジスタ，コンデンサなどをはじめとする民生用デバイスは, 身近な電気製品に用いられ，その応用分野はますます広がっている．特に電子デバイスの宇宙空間での利用は, 宇宙産業の発展に伴い，年々増加している．しかし，宇宙空間では宇宙線が飛び交っており, 放射線によるデバイスの持性劣化などの影響が問題となる. 宇宙空間において電子デバイスは正常に動作することが要求されるため，温度，放射線，衝撃などに対する耐性の評価が必要である. この耐性評価は, 実際にデバイスに放射線を照射する必要があることなどから，多くの研究費がかかり，宇宙用電子デバイスの高コスト化の要因となっている．宇宙用電子デバイスの民生用デバイスによる代用は, この問題の解決策の１つとして検討されている.

電子デバイスの一つに, バイポーラトランジスタがある．MOSFET の台頭により，利用範囲が縮小してきたバイポーラトランジスタであるが, 安価でかつ電流増幅率が高いという特徴を生かし，電化製品などに用いられている.

このような背景から, 本研究はバイポーラトランジスタを研究対象とし, デバイスへの放射線照射前後の電気的特性の比較を行うことで, その耐放射線性を評価した.

2. 実験方法

本研究では, 試料にガンマ線と電子線の２種の放射線を照射し，その影響を評価した.

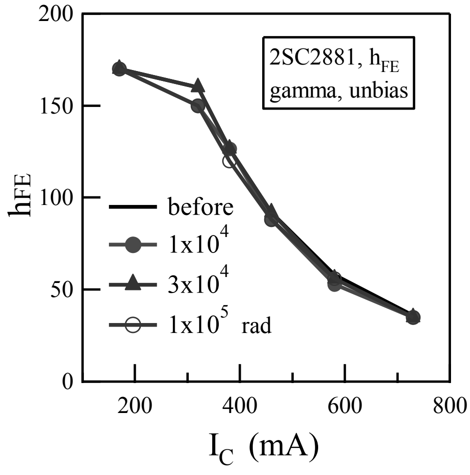
試料は，東芝製の npn 型バイポーラトランジスタ(2SC2881)に決定した．特徴として，高耐圧であることが挙げられ，主に電力増幅用，励振段増幅用として用いられる.

照射条件として, 照射施設は日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所で電子線は加速電圧２MeV, 照射量を 4.0×10^{11}～3.6×10^{12} e/cm² とした. ガンマ線は加速電圧２MeV，照射量を $1.0\mathrm{x}10^4$～$1.0\mathrm{x}10^5$ rad とした．電子線とガンマ線では照射量の単位も値も異なるが, 以下の変換式よりほぼ同照射量である.

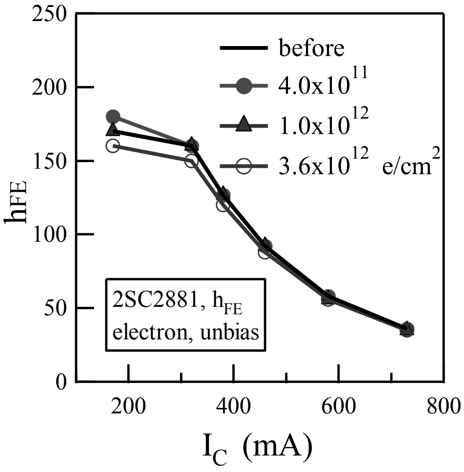
$$\mathrm{Fluence(e/cm^2)} = 2.4\times10^7\times\mathrm{dose(rad)} \qquad (1)$$

電気的特性の測定は，直流電流増幅率 h_{FE} とエミッタ遮断電流 I_{EBO} の２種のパラメータの測定を行った．電流増幅率の測定では，エミッタ端子を接地した状態でコレクタ・エミッタ間に所定の電圧を印加し，h_{FE}-I_C 特性を求める．実際には，V_{BE} を変化させながら I_B および I_C を測定し，各 V_{BE} に対する h_{FE} を求めることとなる．エミッタ遮断電流の測定では，コレクタ端子をオープンとした状態で，エミッタ・ベース間に逆電圧を印加し，エミッタ・ベース間に流れる漏れ電流を測定する.

2. 結果及び考察



(a)ガンマ線照射時

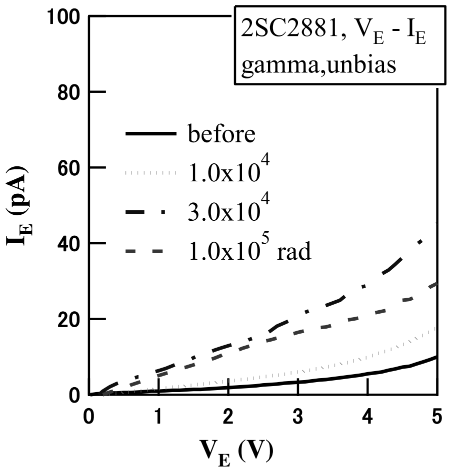


(b)電子線照射時

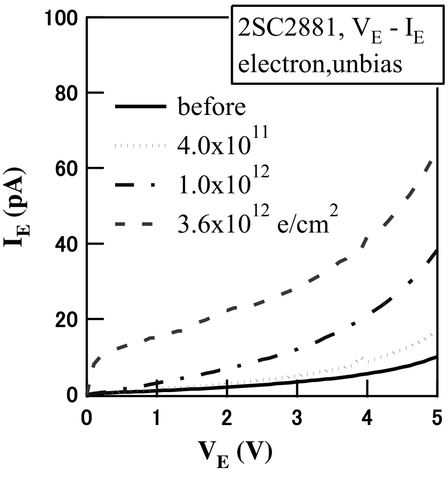
図 1．照射前後の直流電流増幅率

図１に照射前後の電流増幅率の変化を示す．グラフは，コレクタ電流 I_C の減少に伴い，電流増幅

率は大きく低下する傾向にある．通常，I_Cが定格よりも十分低い場合においては，電流の増加に伴い電流増幅率も増加していく．I_C定格付近での増幅率の減少の要因として，ベースエミッタ間電圧に対するベース電流とコレクタ電流の依存性が変わることが考えられる．グラフより照射前後で大きな変動はないことが確認できる．この素子の I_C＝100 mA の条件における定格が最小 80，最大 240 であるが，今回の測定データはこの範囲にある．また，線種で比較すると，コレクタ電流が低い範囲でガンマ線より電子線照射後の方が大きな増幅率の変化が見られる．これは，電子線が粒子線であることに関係している．ガンマ線は電磁波であり，透過能力が高く，あまり特性に影響を与えない．これに対し，粒子線である電子線は透過能力が低いので，結晶欠陥などの導入により，コレクタ電流I_Cが減少，よって電流増幅率が減少したと考えられる．



(a) ガンマ線照射時



(b) 電子線照射時

図 2．照射前後のエミッタ遮断電流

図 2 に照射前後のエミッタ遮断電流の変化を示す．グラフは，V_Eの増加に伴い，I_Eも増加する傾向にある．ガンマ線，電子線いずれも照射後エミッタ遮断電流が増加した．線種より比較すると，電子線照射後のほうが劣化は大きい．この原因として，電子線が変位損傷を引き起こし，格子欠陥が形成され，漏れ電流が増加したことが考えられる．これに対し，電磁波放射線であるガンマ線は，変位損傷を起こさないため，影響が少なかったと推測される．このようにわずかな劣化がみられたが，この素子のエミッタ遮断電流の定格は最大 0.1 μA なので，使用に耐えうるといえる．

3. まとめ

宇宙線である電子線とガンマ線がバイポーラトランジスタの特性に与える影響を評価するため，直流電流増幅率とエミッタ遮断電流の測定を行い，照射前後で比較した．

電流増幅率に関しては，照射前後で大きな劣化は確認できなかった．この原因として，格子欠陥はコレクタ電流の減少には寄与しなかったことが考えられる．これに対しエミッタ遮断電流は照射前後でガンマ線より電子線の方が大幅に劣化した．これはガンマ線照射では起こらない変位損傷が電子線照射により発生したことに起因する．

直流電流増幅率とエミッタ遮断電流の 2 つの項目において，わずかな劣化がみられたが，ともに定格を超える劣化は見られなかった．よって，今回の照射条件においては試料のトランジスタは使用に耐えうることが確認できた．

4. 参考文献

1) 大西一功, 松田純夫, “半導体素子に対する放射線照射効果”, 電子情報通信学会誌 Vol.85, No.9, p. 662-669(2002)
2) 梶沼雅仁, 溝口彰, 武内広一朗, “LSI の製造品質評価としての構造解析手法の活用(LSI の評価・診断・解析及び,品質)”
3) 安田幸夫　校閲, 大山英典, 葉山清輝　著, “半導体デバイス工学”, 森北出版株式会社, p41-49, p68-76(2004)
4) 伊東規之　著, “テキストブック電子回路”, 二本理工出版会, p12-18, p38-43, p51-57(2006)
5) Henry B. Garrett,Albert C. Whittlesey “Guide to Mitigating Spacecraft Charging Effects”, Wiley, p137, (2012)
6) 東芝バイポーラトランジスタ　シリコン NPN エピタキシャル形(2sc2881) データシート
7) 茂木順, “バイポーラ・トランジスタ・モデルの概要”, Design Wave Magazine No.4 , p92-93(1996)

番　　号	E-26	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）静電界に関する研究
（副題）直方体空間内の点電荷による静電界の数値計算

研究者（連名者）	大堂弘智
所　属	電子工学科
指　導　教　員	下田道成（教授）

１．はじめに

点電荷に対して,導体の境界がある場合には電荷が導体に誘導されるので,電気影像法を用いた解析が可能である.しかし,導体境界が複数ある場合には電気影像が無限個現れるため,収束が悪くなる. よってここではフーリエ展開及び固有関数を用いた解析方法により,６枚の平面導体に囲まれた直方体空間に点電荷が存在する場合についての,電位と電界の強さを求め検討を行う.

２．問題の設定と定式化

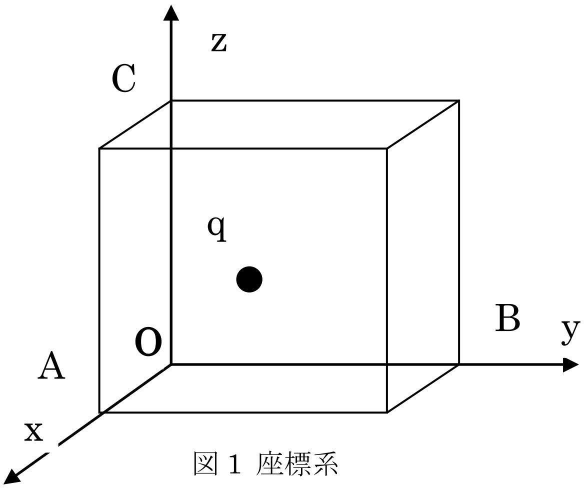


図１ 座標系

左図は問題の設定と座標系を示している.導体内に設置された４点 OABC を角とする直方体空間の内部に q [C] の点電荷(a,b,c)があるとき,観測点(x,y,z)での電位は,

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)V(x,y,z)=-\frac{q}{\varepsilon_0}\delta(x-a)\delta(y-b)\delta(z-c) \quad -①$$

と,壁面の境界条件

$$V(0,y,z)=V(A,y,z)=0 \quad (0<y<B,0<z<C)$$
$$V(x,0,z)=V(x,B,z)=0 \quad (0<x<A,0<z<C) \quad -②$$
$$V(x,y,0)=V(x,y,C)=0 \quad (0<x<A,0<y<B) \quad -③$$

を満たす解で求める.フーリエ展開と,固有関数を用いた２つの方法で解析する.

2,3．フーリエ展開を用いた電位

電位をフーリエ展開で表すことにより,電位は

$$V=\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{N}\sum_{l=1}^{N}\frac{8q}{ABC\varepsilon_0}\frac{\sin\frac{n\pi a}{A}\sin\frac{n\pi b}{A}\sin\frac{m\pi c}{B}}{\left[\left(\frac{n\pi}{A}\right)^2+\left(\frac{m\pi}{B}\right)^2+\left(\frac{l\pi}{C}\right)^2\right]}\sin\frac{n\pi x}{A}\sin\frac{n\pi y}{A}\sin\frac{m\pi z}{B}$$

で表され,電界は.

$$\vec{E}=\left(-\frac{\partial V}{\partial_x},-\frac{\partial V}{\partial_y},-\frac{\partial V}{\partial_x}\right)$$

と表される.

2,3．２次元問題の固有関数を用いた電位

固有関数を用いて,電位 V_1 と V_2 の重ね合わせで $V=V_1+V_2$ と表す.

$$V_1=\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{N}\frac{q}{\varepsilon}\frac{2}{AB\sqrt{\left(\frac{n\pi}{A}\right)^2+\left(\frac{m\pi}{B}\right)^2}}\sin\frac{n\pi}{A}a\sin\frac{n\pi}{A}x\sin\frac{m\pi}{B}b\sin\frac{m\pi}{B}y\,e^{-\gamma_{nm}|z-c|}$$

$$V_2=\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{N}\frac{q}{\varepsilon}\frac{2}{AB\sqrt{\left(\frac{n\pi}{A}\right)^2+\left(\frac{m\pi}{B}\right)^2}}\sin\frac{n\pi}{A}a\sin\frac{n\pi}{A}x\sin\frac{m\pi}{B}b\sin\frac{m\pi}{B}y[C_1e^{\gamma_{nm}z}+C_2e^{-\gamma_{nm}z}]$$

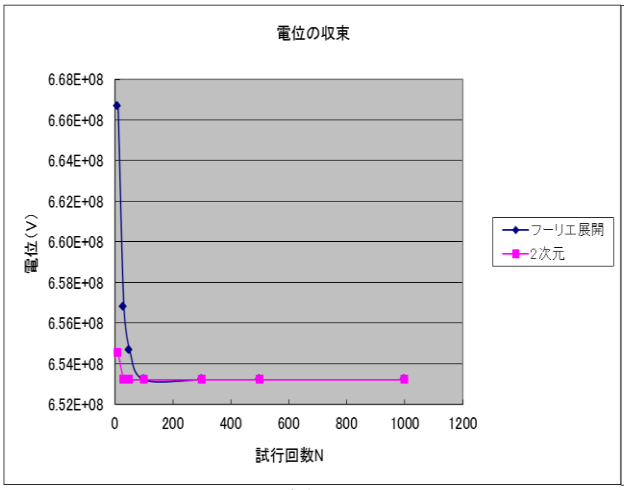
ここで V1 は境界条件②と①を満たしており,V2 は境界条件②とラプラス方程式を満たしている. V2 の未知数 C_1,C_2 を境界条件③を満たすように定めると,

$$C_1=\frac{e^{-\gamma d}-e^{\gamma d}}{e^{\gamma D}(e^{\gamma D}-e^{-\gamma D})}\ ,\quad C_2=\frac{e^{-\gamma(D-d)}-e^{\gamma(D-d)}}{e^{\gamma D}-e^{-\gamma D}}$$

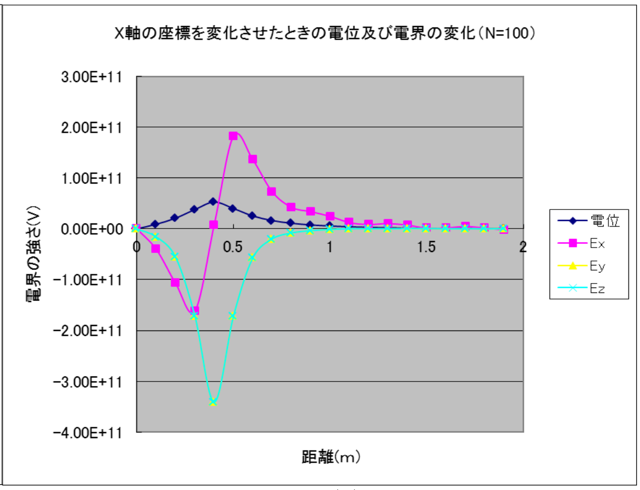
となり,電位の表示式が得られる.

3．計算結果

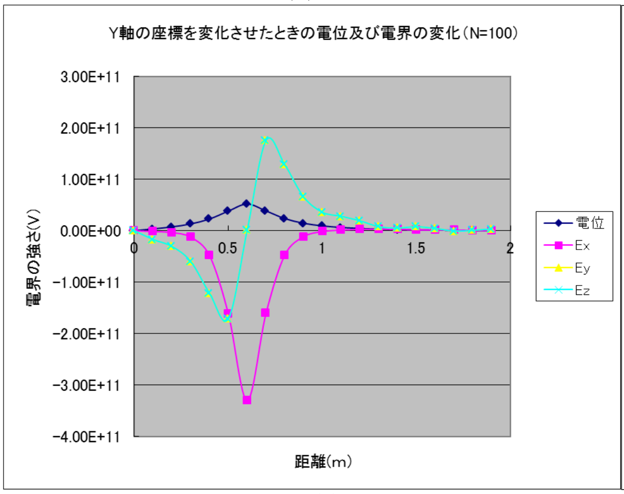
電荷 q を 1 [C]とし,電荷の位置を a=0.3[m],b=0.5[m],c=0.7[m].観測点を x=1.0[m],y=1.3[m],z=1.7 とした時の観測点での電位が次の図 2 (a)である.電界の強さを求め,観測点の座標を変化させた時の電位及び各方向への電界の強さの変化を求めたのが図 2 (b)～(d)である.



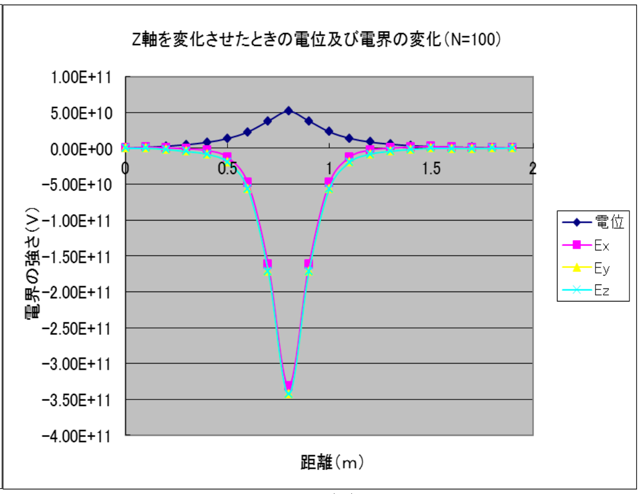
(a)



(b)



(c)



(d)

図２　数値結果

4．まとめ

フーリエ展開を使った電位の計算よりも 2 次元問題の固有関数を利用した電位の計算の方が,値の収束が早いことが確認できた.電界の強さも同様に収束することが確かめられた.観測点が電荷に接近した時に電位が上昇し,強い電界が発生する.

5．参考文献

【１】 小塚洋司 著　「電気磁気学-その物理像と詳論-」　森北出版株式会社

番　号	E-27	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）電磁波の散乱に関する研究
（副題）平面波について

研究者（連名者）	青木梨玖
所属	電子工学科
指導教員	下田道成（教授）

1,はじめに

地球に到達する太陽光は全て平面波であらわすことができる.今回はその平面波についての理解を深める.

2,平面波の定式化

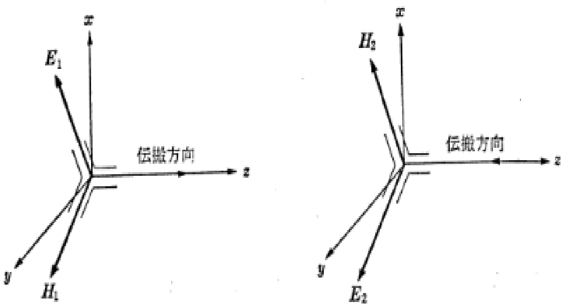


図 1,平面波の電磁界と伝搬方向

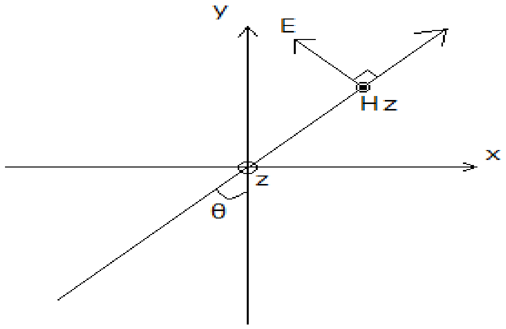


図 2,平面波における電界と磁界

平面波とは伝搬する方向に垂直な平面内で電磁界が一様なものをいう.図 1 は z 方向に伝搬する平面波を表している.E と H は z 方向に直交して,伝搬する方向は E 方向から H 方向への右ねじをまわししたときねじの進む方向に伝搬する.

図 2 示すように磁界の強さ Hz が

$$H_z = e^{ik\sin\theta x + ik\cos\theta y} \quad (1)$$

で表される.z 方向には一様な 2 次元の平面波について考える.時間因子はであり$e^{-i\omega t}$ここでは誘電率,透磁率をそれぞれ$\hat{\varepsilon}$,μとする.($\hat{\varepsilon}$は複素誘電率)

電界の強さ E は

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = -i\omega\hat{\varepsilon}\vec{E} \quad (2)$$

(1)式,(2)式より

$$E_x = -\frac{1}{i\omega\hat{\varepsilon}}\frac{\partial H_z}{\partial y} = -\frac{k}{\omega\hat{\varepsilon}}\cos\theta\, e^{ik\sin\theta x + ik\cos\theta y} \quad (3)$$

$$E_y = \frac{1}{i\omega\hat{\varepsilon}}\frac{\partial Hz}{\partial x} = \frac{k}{\omega\hat{\varepsilon}}\sin\theta\, e^{ik\sin\theta x + ik\cos\theta y} \quad (4)$$

また k と Z は次のようにあらわすことができる.

$$k = \omega\sqrt{\mu\hat{\varepsilon}} \quad (5)$$

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\hat{\varepsilon}}} \quad (6)$$

よって電界の強さ E は

$$\vec{E} = Z(-\cos\theta\,\vec{i}x + \sin\theta\,\vec{i}y)e^{ik\sin\theta x + ik\cos\theta y} \quad (7)$$

$$\vec{H} = H_z\vec{i}z \quad (8)$$

$\vec{i}$は単位ベクトルである.

(1)式で, θ と k が複素数になった場合波はどのように変化が見られるか検討してみた.
(1)式の$\theta = \alpha + i\beta$,$k = k_r + ik_i$として計算すると

$$H_z = e^{\substack{i\{k_r(\sin\alpha\cosh\beta x + \cos\alpha\cosh\beta y) + k_i(\cos\alpha\sinh\beta x - \sin\alpha\sinh\beta y)\} \\ +\{k_r(\cos\alpha\sinh\beta x - \sin\alpha\sinh\beta y) + k_i(\sin\alpha\cosh\beta x + \cos\alpha\cosh\beta y)\}}} \quad (9)$$

ここで虚部,実部を定数とおくと

$$y_i = -\tan(\alpha + t)\,x + C_1 = -\tan\varphi\,x + C_1 \quad (10)$$

$$y_r = -\tan(\alpha - u)\,x + C_2 = -\tan\gamma + C_2 \quad (11)$$

$$\frac{k_i}{kr}\tan\beta = \tan t \qquad \frac{k_i}{kr}\cot\beta = \cot u \quad (12)$$

C_1,C_2は定数,(10)式は位相一定,(11)式は振幅一定の面について表してある.

(a)$\beta = 0$、$k_i = 0$の場合…伝搬方向に垂直な面で位相一定,振幅はどこにおいても一定である.

(b)$\beta = 0$、$k_i \neq 0$の場合…伝搬方向に垂直な面で位相と振幅が一定で,伝搬する方向に波が減衰している.

(c)$\beta \neq 0$、$k_i = 0$の場合…伝搬方向に垂直な面で位相一定で,振幅は位相一定の面に対して垂直な面で一定である.

(d)$\beta \neq 0$、$k_i \neq 0$ の場合…位相一定な面は伝搬方向に垂直な面に対して,β<0 のとき t<0 となり(α+(−t))だけずれる.逆に,β>0 のとき t>0 となるため(α+t)ずれる.振幅一定な面も同様に伝搬方向に垂直な面に対して,β<0 のとき u<0 となり(α−(−u))ずれ,β>0 のとき u>0 で(α−u)ずれた面となる.波は伝搬する方向に減衰している.

3,計算結果

下図は,(10)式,(11)式のφとγを示す.$\alpha = 30$,$k_r = \omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0} = 2\pi f\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$,$f = 2 \times 10^7$,$C_1 = C_2 = 0$した.

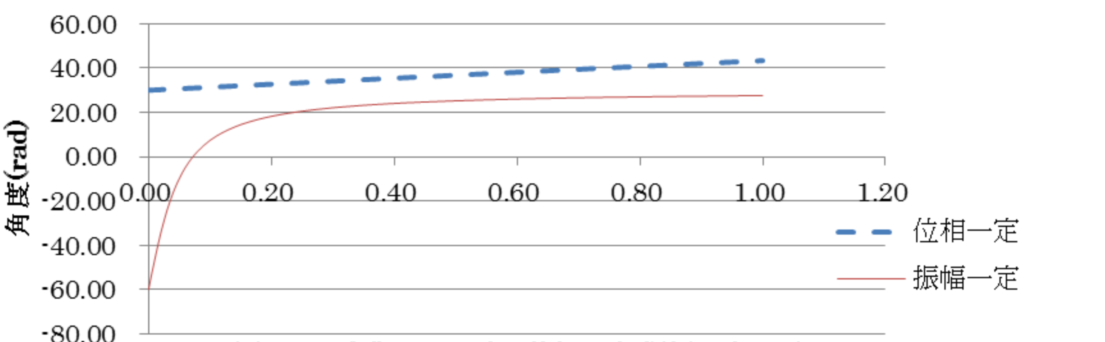


図3,kiを変化させた時の位相一定,振幅一定な面

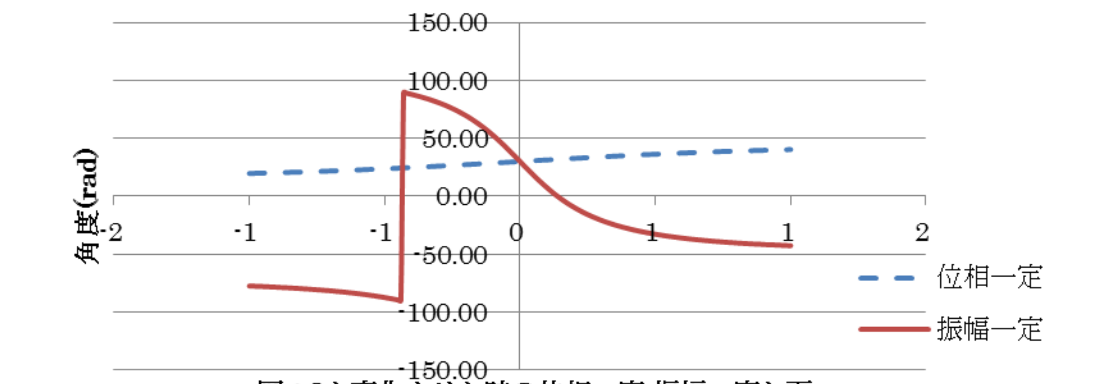


図4,βを変化させた時の位相一定,振幅一定な面

4,まとめ

θ や k が複素数になると,位相一定の平面と振幅一定な平面が直交してないのがわかった.また端数の虚数k_i,が零ではないとき,平面波が伝搬方向に減衰していた.

5,参考文献　「電磁波工学」　東北大学教授　工学博士　　安達　三郎

番号	E-28	発表年月日	平成２５年２月２２日

（題名）電磁波に関する研究
（副題）境界面における反射･屈折について

研究者（連名者）	高橋賢
所属	電子工学科
指導教員	下田道成（教授）

1. はじめに

近年，液晶ディスプレイ・光ディスク・光通信などの光学分野の発展に伴い，偏光の制御・計測や複屈折などの重要性が増している．電磁波工学において反射・屈折・偏光などの知識は必要不可欠である．境界面における反射・屈折現象とブリュースター角に注目して研究することで，電磁波の性質について理解を深める．

2. 境界面における反射･屈折

媒質１(ε_0，μ_0，σ_0=0)の均質な媒質から，境界が平面で異なった媒質２(ε_2，μ_0，σ_2)の半無限媒質へ平面波が入射する場合の反射や屈折の現象を考える．一般の偏波特性を持つ平面波は，２つの直行する直線偏波に分解することができる．２つに分解した直線偏波のうち，磁界成分が入射面に対して垂直なものを TM 波，電界成分が入射面に対して垂直なものを TE 波とばれる．

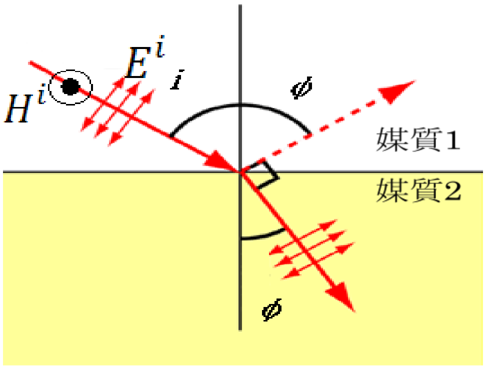


図 1.境界面における反射屈折(TM 波)

2.1. 無損失の時の反射係数

TM 波入射の場合の反射係数は，

$$R=\frac{Z_1 cos i - Z_2 cos\Phi}{Z_1 cos i + Z_2 cos\Phi} \quad (1)$$

となり，スネルの公式より，$i + \Phi = \frac{\pi}{2}$ となるとき，R=0 となることが導かれる．このときの入射角 i をブリュースター角とよぶ．

TE 波入射の場合の反射係数は，

$$R=\frac{Z_2 cos i - Z_1 cos\Phi}{Z_2 cos i + Z_1 cos\Phi} \quad (2)$$

となり，R=0 とはならないために TE 波にはブリュースター角は存在しない．TM 波のみで起こる現象であるので，ブリュースター角で自然光が入射すると，反射光が TE 波のみで TM 波は完全に透過する．

図２は TM 波と TE 波の入射角の変化に伴う反射係数の変化したものである．TE 波は入射角を大きくするに従って反射係数が大きくなるのに対し，TM 波はブリュースター付近で０になっている．

媒質２の媒質定数を変化させるとブリュースター角も変化する．媒質２(ε_2=2.25ε_0, σ_2=0)のガラスに入射する光の場合ではブリュースター角は約 56°となる．

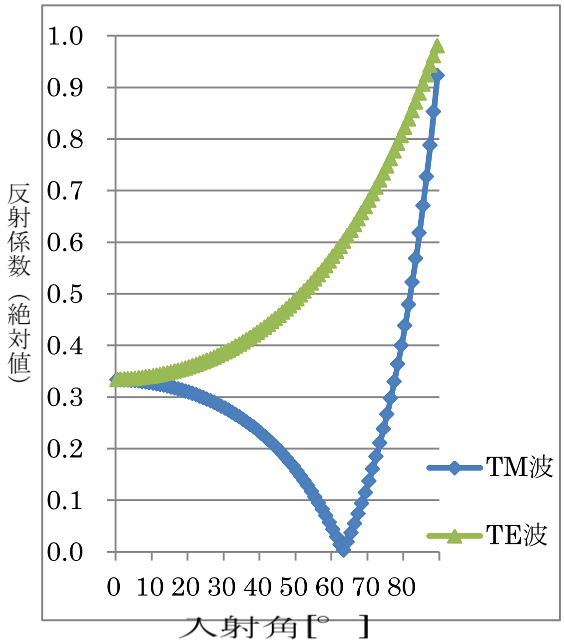


図 2．フレネル反射係数（無損失 ε_2=4ε_0）

2.2. ブリュースター角

R=0 の現象がおきる理由は電気ダイポールの放射界で考えることができる．電気双極子から十分離れた場所における電磁場を考えるので，

$$E_\theta = \frac{Ile^{-jkr}}{j4\pi\omega\epsilon}\left(\frac{1}{r^3}+\frac{jk}{r^2}-\frac{k^2}{r}\right)sin\theta \cong \frac{Ile^{-jkr}}{j4\pi\omega\epsilon}\left(-\frac{k^2}{r}\right)sin\theta \quad (3)$$

として扱うことができる．式（3）より，E_θ は $\theta=0$ 及び $\theta=\pi$ で 0 となり，$\theta=\pi/2$ のとき最大となる．即ち振動電荷から放出される電波は振動方向に垂直に一番強く，電場の振動方向は電荷の振動方向に偏っている．よって，垂直な面から離れるにつれて放射される電波は弱くなり，振動方向には電波は出ない．故にブリュースター角で平面波が入射した場合には反射光は入射面に垂直に偏ることから，反射光は TE 波のみになることになる．

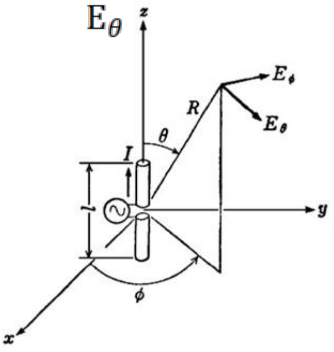


図 3. 電気ダイポールの放射界

2.3. 損失性の媒質での反射係数

平面波が導電率が 0 でない損失性の媒質に入射する場合には媒質は分散性となり，周波数によって特性が異なる．図 4 に媒質 2（$\varepsilon_2=10\varepsilon_0$，$\sigma_2=10^{-3}$ S/m)の場合の反射係数の絶対値と位相の結果を示す．TM 入射の場合にはブリュースター角に対応した入射角で反射係数の極小が現れる．このような入射角は準ブリュースター角とよばれる．

$\varepsilon_2=10\varepsilon_0$，$\sigma_2=10^{-3}$ S/m

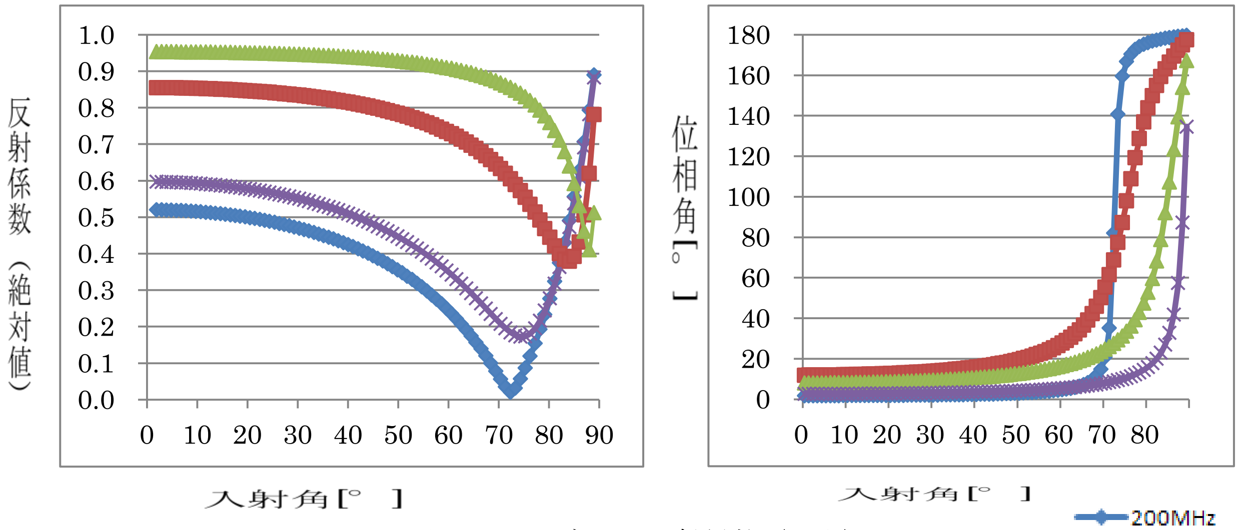


図 4. フレネルの反射係数（湿土）

3. まとめ

無損失媒質中において，自然光が反射角と屈折角が 90° となる角度で入射すると反射波は TE 波のみに偏光し，TM 波はすべて透過する．この角度をブリュースター角といい，入射側の媒質と透過側の媒質の屈折率の変化によってブリュースター角は変化する．損失性の媒質に入射するときは，TM 波は準ブリュースター角において高い周波数の時は無損失時と同じような振る舞いを見せるが，周波数が低くなるに従って反射係数が大きくなり，反射係数が 0 にならない．

4. 参考文献

電磁波工学　電子情報通信学会編　コロナ社　東北大学教授工学博士　安達三郎

番　　号	E-29	発表年月日	平成２５年２月２２日

（題名）電磁波の散乱に関する研究
（副題）表面プラズモンに関する数値計算

研究者（連名者）	高村明秀
所　属	電子工学科
指導教員	下田道成(教授)

１．はじめに

近年，環境汚染が問題となり，レイチェル・カーソン氏の「沈黙の春」という本[1]では殺虫剤などの環境への影響を示し，微量の物質でも環境や人体に大きな影響を与えると述べている．このような背景から，それらを検出するための装置の開発が求められている[2]．その装置は，より小型で高感度であるものが理想的である．そのために表面プラズモンの共鳴という現象を利用したセンサが現在，医療や，バイオ分析といった様々な分野で活用している．使用例としては，環境汚染物質の検出の装置，薬物や爆発物の検知装置，ウィルスのセンサなどが挙げられる．その表面プラズモンの共鳴に着目して研究を行った．

２．表面プラズモン

表面プラズモンとは，電磁波により自由電子が励起される電子の粗密波のことである．表面プラズモンの共鳴とは，電磁波が境界面で全反射するときに発生するエバネッセント波と，表面プラズモンの波数が一致したときに起こる現象のことである．この現象は微小な屈折率の変化を反射率の変化として増感するため，主にセンサに利用されている．

３．原理

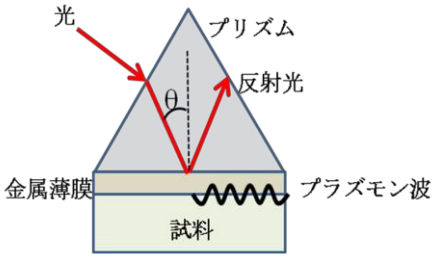


図１．クレッチマン配置

解析を行う際に，クレッチマン配置と呼ばれるモデルを使用した．このモデルはプリズムの下に金属薄膜，その下に試料を配置したものである．

プリズム層に入射された光は，プリズム層から金属薄膜層に進む時に，反射波と透過波に分かれる．透過波はまた，金属薄膜層とセンシング層(試料)の境界で，反射波と透過波に分かれる．入射角を変えていったときに，ある角度になると反射光強度は急激に 0 に近づく．この角度を利用して様々な物質の検知が行われる．反射光強度 R を以下に示す[3]．

$$R=\left|\frac{r_{pm}+r_{ms}\cdot e^{2ik_{mz}d}}{1+r_{pm}\cdot r_{ms}\cdot e^{2ik_{mz}d}}\right|^2 \quad \ldots(1)$$

$$r_{pm}=\frac{k_{pz}\cdot\varepsilon_m-k_{mz}\cdot\varepsilon_p}{k_{pz}\cdot\varepsilon_m+k_{mz}\cdot\varepsilon_p} \quad \ldots(2) \qquad r_{ms}=\frac{k_{mz}\cdot\varepsilon_s-k_{sz}\cdot\varepsilon_m}{k_{mz}\cdot\varepsilon_s+k_{sz}\cdot\varepsilon_m} \quad \ldots(3)$$

$$k_{pz}=\sqrt{{k_p}^2-{k_{px}}^2} \quad \ldots(4) \qquad k_{mz}=\sqrt{{k_m}^2-{k_{mx}}^2} \quad \ldots(5) \qquad k_{sz}=\sqrt{{k_s}^2-{k_{sx}}^2} \quad \ldots(6)$$

式(1)において d は金属薄膜の厚さを，式(2)，(3)において ε_m，ε_p，ε_s はそれぞれ金属薄膜，プリズム，試料の誘電率を表す．k_p，k_m，k_s はそれぞれプリズム，金属薄膜，試料の波数を表す．

４．シミュレーション方法

数値計算ソフト FORTRAN によって，式(1)の計算を行う[4]．試料に水，ガラスを用いた場合，金属薄膜の厚さを変えた場合，試料の濃度を変えた場合についてそれぞれ入射角に対する反射光強度を求める．

５．結果

シミュレーションにおいて試料に水，ガラスを用いた場合，また，金属薄膜の厚さ d を変えた場合，試料(二酸化炭素)の屈折率 n(濃度)を変えた場合の入射角に対する反射光強度の結果をそれぞれ示す．

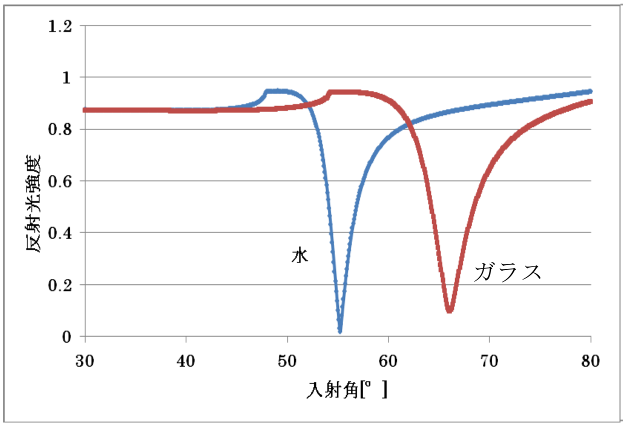


図２．試料を変えた場合

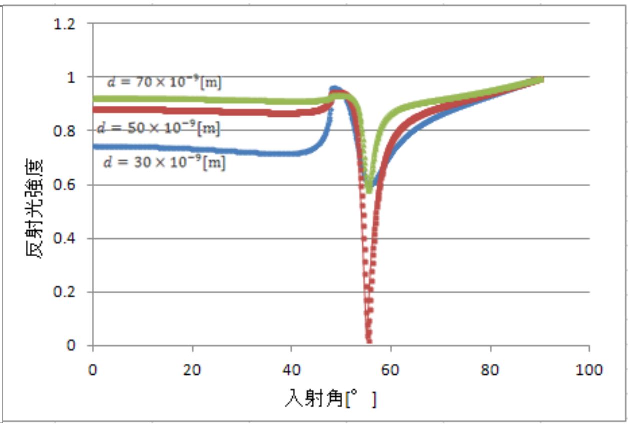


図３．金属薄膜の厚さを変えた場合

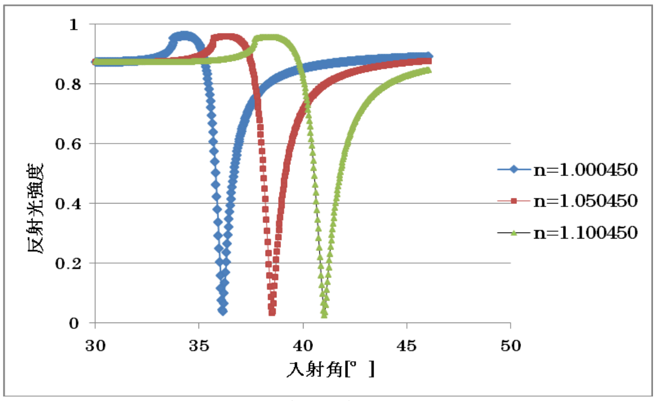


図４．屈折率(濃度)を変えた場合

表1. 用いた屈折率	
水	1.333
ガラス	1.458
二酸化炭素	1.00045

図２において，ガラスと水とでは共鳴角が異なることがわかる．図３において，反射光強度が 0 に非常に近づくのは，金属薄膜の厚さが 50×10^{-9}[m]の時であり，それから少しでも離れると 0 に収束しなくなる．図４において，共鳴角の変化による屈折率の変化が見られる．

６．まとめ

以上の実験を行った結果，以下の①~④に示すことが分かった．

① 物質は固有の共鳴角を持っており，その共鳴角を測定することで，物質の検知が行える(図 2).
② 物質に合うような金属薄膜の厚さを選ぶ必要がある(図 3).
③ 共鳴角の差により，屈折率，濃度の変化を測定できる(図 4).
④ 表面プラズモン共鳴を起こすには試料，金属薄膜に何を使うか，入射角度をどのようにとるかを考慮する必要がある．

７．参考文献

[1]レイチェル・カーソン　沈黙の春 新潮文庫 1974
[2]牛島大空　内海通弘　出来恭一　富永伸明「第 10 回電子情報系高専フォーラム」論文集　表面プラズモン共鳴センサの反射率シミュレーション
[3]安達三郎 電磁波工学 コロナ社
[4]浦昭二　FOTRAN 77 入門 培風館

番　　　号	E-30	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）　電磁波の散乱に関する研究

（副題）　全反射における透過波の振る舞いについて

研 究 者 （ 連 名 者 ）	田尻篤志
所　　　属	電子工学科
指　導　教　員	下田道成(教授)

1. はじめに

電波には空間を早く伝わる性質および境界面で反射，屈折する性質がある．光の反射においては全反射を利用して，光ファイバーケーブルといった便利な物が開発されている．全反射が起こる角度でプリズムに光を入射したとき，光はプリズムを透過せずに反射される．しかし，長年の研究により全反射が起こっている時にも光は微量に透過することがわかってきている。ここでは全反射時の透過波の磁界の強さを計算することにより，全反射について研究を行った．

2. 原理

全反射時において，2 つのプリズムが近い場合には透過波は微量に存在しているため，透過波は 2 つ目のプリズムを通り抜ける．つまりプリズムの間隔 h を狭めると反射が零に近づき，透過しやすくなる．図 1 は 3 層における光の進行を示したものである．誘電率が同じ 2 つのプリズムを近づけ，波を媒質 1 に入射させると，波は媒質 1 と媒質 2 の境界面で反射し，また表面波として媒質 2 に進行する波も存在する．この表面波が媒質 3 の境界面に進行して媒質 3 中に進み透過波となる．

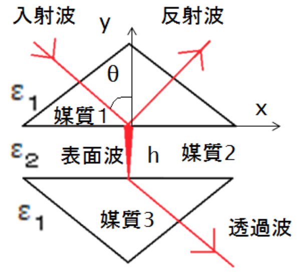


図1　3層における光の進行

平面波に入射角 θ で入射した場合には全反射となる条件は，屈折率 n，各層における波数 km (m=1,2) を用いると

$$k_{2y} = \sqrt{k_2^2 - k_1 \sin\theta^2} \quad , \quad n = \frac{k_2}{k_1} \quad \text{より}$$

$$n < \sin\theta$$

となる。但し，$\varepsilon_2 = \varepsilon_0$ で真空間隔とする．反射係数 r と透過係数 t は，各層における y 方向にの波数 kmy (m=1,2)，各層における誘電率 ε_m (m=1,2) および，プリズム間 h とすると

$$r_{12} = \frac{\varepsilon_2 k_{1y} + \varepsilon_1 k_{2y}}{\varepsilon_1 k_{2y} + \varepsilon_2 k_{1y}} \qquad t_{12} = \frac{k_2}{k_1} \frac{2\varepsilon_1 k_{1y}}{\varepsilon_1 k_{2y} + \varepsilon_2 k_{1y}}$$

$$r = \frac{r_{12}(1 + e^{2ik_{2y}h})}{1 + r_{12}^2 e^{2ik_{2y}h}} \qquad t = e^{-i(k_{1y} - k_{2y})h} \frac{t_{12}^2}{1 + r_{12}^2 e^{2ik_{2y}h}}$$

と表される．次に 2 層間における磁界の強さは，境界条件から

$$C_1 = \frac{t_{12}}{1 + r_{12}^2 e^{2ik_{2y}h}} \qquad C_2 = \frac{t_{12} r_{12} e^{2ik_{2y}h}}{1 + r_{12}^2 e^{2ik_{2y}h}}$$

を用いて計算する。ここで 2 層間の磁界の強さは入射波・反射波の磁界の強さの和なので

$$H_2 = \left| \frac{C_1}{Z_2} e^{ik_{2x}x - ik_{2y}y} + \frac{C_2}{Z_2} e^{ik_{2x}x + ik_{2y}y} \right| \tag{1}$$

で表される。ここで Zm (m=2) は 2 層目の媒質の固有インピーダンスである。

3　数値計算結果

入射波の波長が $\lambda = 632.8 \times 10^{-9}$ [m] ,屈折率が n=0.667 の場合の数値計算を示す．

3.1　反射係数・透過係数

h/λ を一定にし，入射角 θ を変化した時の反射係数・透過係数が図 2 である．また入射角 θ を一定にし h/λ を変化した時の反射係数が図 3 である．

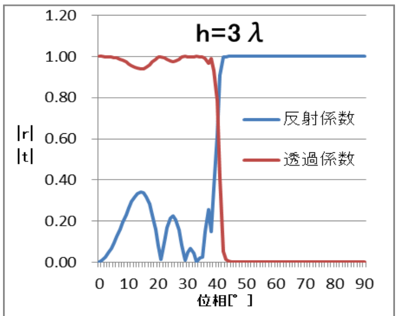


図2　反射係数･透過係数-位相特性

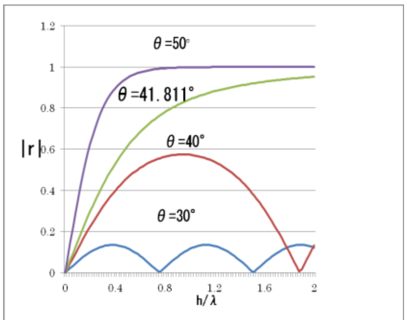


図3　反射係数-h/λ特性

3.2　磁界の強さ

入射角と h/λ を一定にした時の式(1)の磁界の強さが図 4 である．また h/λ を一定にし，入射角を変化し場合，式(1)で y=-h とおいた時の磁界の強さが図 5 である．

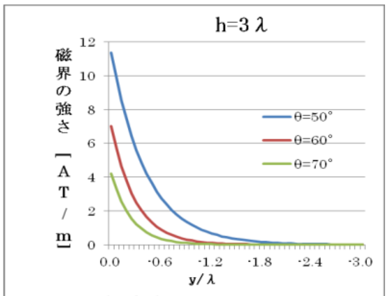


図4　全反射時における磁界の強さ

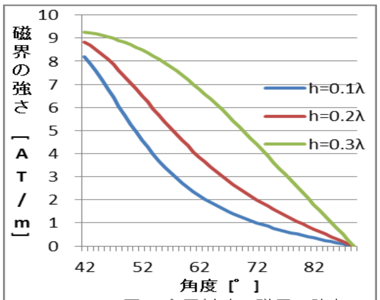


図5　全反射時の磁界の強さ

4　考察

計算結果より，図 2 は角度を大きくしていき全反射が起こり，r は 1，透過係数は 0 へ近づいていることがわかる．図 3 では h/λ が変化すると，全反射時の角度より入射角が小さい時は r が弧状に変化している．全反射時の角度より大きい時はとなると r は 1 に一定もしくは近づいているのがわかる．図 4 は y/λ を変えていった時の媒質 2 中の磁界の強さが変化したものであり，y を負の方に大きくしていくと強さは減少してくのがわかる．グラフの傾きが急なことから透過波の存在が確認できる h は狭い位置だと考えられる。図 5 より h が小さい方が入射角を変えても H_2 は大きいことがわかる．また入射角を大きくすると境界面に到達するまでの距離が大きくなるため，角度が大きいほど H_2 が小さくなることがわかる．

5　まとめ

屈折率 1.5 のガラスを用いた時の全反射が起こる入射角度は約 41．811° である。この角度より大きくしていくと透過波は減少していく。またプリズム間隔 h を小さくしていくと，反射係数は減少する。これより全反射が起こっている時の透過波はプリズムの間隔が狭い時に存在し，プリズムの間隔を広げていくと透過波は減少していくことが確認できた。

6　参考文献

・電磁波　　理工学基礎講座 20　　朝倉書店　　東京工業大学教授工学博士　　関口利男　著
・電磁波工学　　電子情報通信学会偏　　　コロナ社　　東北大学教授　工学博士　安達三郎

番　　　号	E-31	発表年月日	平成 25 年 2 月 22 日

（題名）Si 表面上の Ag 吸着構造
（副題）STM によるサブナノメートル解析

研究者（連名者）	入口健太　志水康平　建山知輝　松下淳矢
所　　　属	電子工学科
指導教員	大石信弘(教授)

1．背景

半導体集積回路は Si 半導体素子の超微細化により高集積化を進め，その性能を飛躍的に向上させてきた.しかしながら，以上の超微細化に伴う半導体集積が実現されたときに問題になってくるものが，量子力学的効果に伴う動作原理の行き詰まりである．

そこで，今までのような微細化技術である，外形を決めてその形に見合うように内部を形成していくトップダウンのアプローチに代わり，技術的な限界のブレイクスルーとして期待されているのが，原子・分子から構造を積み上げていくボトムアップのアプローチである．ボトムアップのアプローチの中でも装置を用いて原子１個１個を動かし，任意のナノ構造を得る方法を原子操作というが，この方法では構造を形成するに至るまで多くの操作が必要となり，膨大な時間が費やされることになる．

そこで注目されているのが物質の表面が持つ特徴を活かし，分子や原子の相互作用により，均一状態からある秩序状態が生じる過程である「自己組織化」によりナノワイヤと呼ばれるナノ構造を作る方法である.例えば雪の結晶のような決まった構造が自然に出来上がるのも「自己組織化」である．

ナノワイヤは，線幅が数Å～数 nm 程度の極微小で一次元形成される構造物であり，Si(557)表面上での Ag ナノワイヤ[1]や Si(100)表面上での Bi ナノワイヤなどが知られている[2, 3]．このナノワイヤを任意に作りだすことが出来るようになれば，ナノデバイス間の配線に大きな役割を果たすことが出来ると期待されている．

そのためにもナノワイヤの形成過程の解明と，製作技術の確立は重要である．

またナノワイヤをはじめとするナノ構造物の形成過程は下地になる物質の表面の様子に大きく依存するので，表面構造の解明も重要である．

2．研究目的

Si 清浄表面に異種原子の分子を吸着させると，興味深い構造を形成することが知られている．例えば，Ga/Si(111)面では√３×√３構造をとり[4]，Si(100)面に Bi を吸着させると Bi ナノワイヤを形成する[2,3]．ナノワイヤは幅が数ナノメートルで導電性をもっているため，ナノデバイスの配線に利用することができないかと期待されている．

過去の文献に Ag/Si(557)でナノワイヤが形成されている[5]．このことより，清浄表面構造が Si(557)に似ている Si(113)に Ag を吸着させることでナノワイヤを形成できるのではないかと考えた．Si(113)はダングリングボンドが一次元に並んだ構造を持っており，Ag/Si 吸着系においても，新たな１次元構造を誘起すると思われるからである．

本研究室においては，Ag/Si 吸着系の吸着手法・解析手法を確立するために，LEED を用いて Si(111)上の Ag 吸着構造を調べてきた．本研究では，STM を用いて原子構造の直接的な知見を得ることで，ナノ構造発現のための吸着・成長条件を確定することを目的とする．これらの手法を確立することで，Si(113)上の Ag ナノ構造形成につなげたい．

3．原理

3-1．表面とは

まず，科学的に見た「表面」（surface）という概念は，バルク（物質内部）に対する概念である．物質の表層部では，付着や脱離などの結果，物質内部とは組成が異なっていたり，組成は内部と同

一であっても，原子の並びがそこで途切れ原子配列が変わったりしているため，物質内部，つまりバルクとは違った物性を示す．

バルク構造の中の原子配置はそれぞれの原子の配位数に対応する数の原子に囲まれているが，バルクの結晶構造に断面を描き，お互いを引き離したとたんに配位数が変わる．従って，それまでの位置は平衡位置ではなくなる．それは原子が新しい平衡位置に向かって(表面エネルギーが小さくなるように)移動するからである．このバルクと異なる組成，構造ならびに物性を有する，物質の「縁」の部分を表面と呼ぶ．

3-2. 表面の表記方法

表面解析において，同じ物質でも観測する面の違い（結晶をどの方向で切るかにより異なる）によってその最上表面に現れる原子の数や並び方が違いその物性も変わるので，結晶のどの格子面を見るのかということが非常に重要になる．そこで格子面を表すのにはミラー指数が用いられる．

図１のようにX,Y,Z軸を取り，それぞれの格子定数をa,b,cとする．切断面と３軸との交点がa',b',c'であるとき，a/a': b/b': c/c'= h:k:l，となる互いに素の整数がある．この時，ミラー指数によって(hkl)と表される．(A)において，a'= a/2，b'= b/4，c'= c/3 とすると，灰色部分の格子面は(243)面である．また，(B)の面は b'=b，c'=c であり，X 軸については交わっていない．この場合は無限遠点で交わっているとして，a'=∞ となる．よってミラー指数は(011)となる．

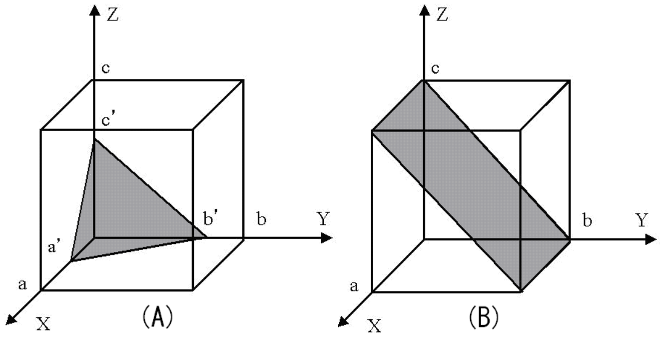


図１．切断面の説明　　(A) (hkl)面　(B)(011)面

4. 実験方法

4-1. 実験装置

4-1-1. 超高真空について

・超高真空の必要性

Si の清浄表面を得て，その状態を維持するためには超高真空が不可欠である．なぜなら，Si 表面はダングリングボンド（未結合手）が大量にあるため，大気中では，一瞬にして不純物に汚染されてしまうからである．

気体分子運動論によると，p [Torr]の雰囲気から 1[cm^2]の表面に温度 T[K]で分子量 M の分子が毎秒衝突する数 N は，次式で示される．

$$N = 2.21\times10^{20}\,p(MT)^{-\frac{1}{2}}[cm^{-2}s^{-1}]$$

上式より，真空下（10^{-6}[Torr]）では，室温で 1[cm^2]の表面に 2.4×10^{14}個の窒素分子が衝突することがわかる．固体表面の第一層には，原子が約 10^{15} 個程度存在するので，窒素分子がすべて付着したとすれば（実際，ダングリングボンドに覆われた清浄な半導体表面の場合にはほとんど付着する)，試料表面は約 4 秒で汚染されてしまう．実際は Si 表面の切り方によっても第一層原子の数は異なり，Si(100)表面なら 1[cm^2]あたり 6.78×10^{14} 個で，Si(111)表面なら 7.83×10^{14} 個である．

超高真空下（10^{-10}[Torr]）の条件であれば，2.4×10^{10} 個の窒素分子が衝突する．窒素分子がすべて表面に付着するとしても，全ての表面が汚染されるのに約 11 時間かかることになる．従って，測定に堪える充分な清浄表面を実現するためには超高真空が必須となる．通常，清浄表面の精密測定には少なくとも 10^{-10}[Torr]，できれば 10^{-11}[Torr]台の超高真空が望ましい．

4-1-2. LEED について

LEED は，図２に示すように 10~200eV 程度のエネルギーを持つ低速の電子線を試料表面に電子銃により入射すると，その表面に並ぶ原子により電子線が回折されることにより，スクリーン(蛍光面)に試料表面の回折像が得られる．回折像は，表面原子の周期構造を表す回折スポットを持ち，逆格子像となる．

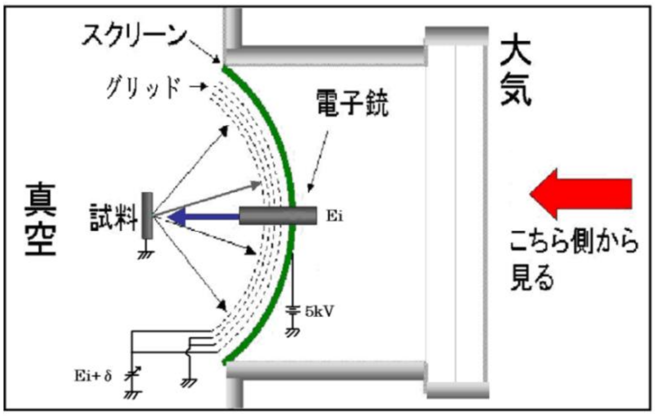


図２．LEED 原理図

これらを回折理論に基づき解析することで，金属表面や半導体再構成表面の周期構造が推測できる．また，LEED による電子の進入の深さは原子層数層ほどで，表面感度が非常に高いという特徴をもち，使用するためには高真空以下の環境が求められる．

・LEED の特徴

① 得られる像は逆格子像となる
② 表面の数原子層についての回折パターンが得られる
③ 広範囲の表面の周期構造を見ることができる
④ 操作が容易で，観測像を得やすい

などが挙げられる．

・逆格子像とは

LEED では，観測像が逆格子像である．そのため，LEED 解析を行うにあたり，二次元結晶の考え方から逆格子を実格子に変換したうえで解析しなければならない．逆格子から実格子に変換する式は，次式で表される．

$$\overrightarrow{a_i}\cdot\overrightarrow{b_j}=2\pi\delta_{ij}\qquad(i,j=1,2)$$

ここで$\overrightarrow{a_i}$は実格子の基本ベクトルで，$\overrightarrow{b_j}$は逆格子の基本ベクトルである．($\overrightarrow{a_1}$，$\overrightarrow{a_2}$)を，二次元実格子基本ベクトルを持つユニットセル(単位胞)とすると，二次元逆格子ベクトル $\overrightarrow{b_1}$ は，$\overrightarrow{a_2}$ に直交する方向に大きさ$\frac{2\pi}{|\overrightarrow{a_1}|}$，$\overrightarrow{b_2}$ は $\overrightarrow{a_1}$ に直交する方向に大きさ$\frac{2\pi}{|\overrightarrow{a_2}|}$で表される．こうして表される($\overrightarrow{b_1}$，$\overrightarrow{b_2}$)が，二次元逆格子基本ベクトルを持つユニットセルとなる．

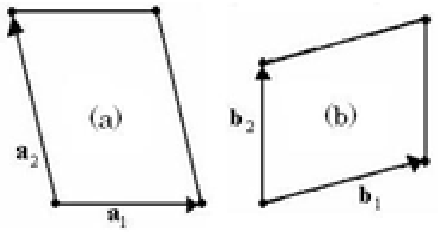
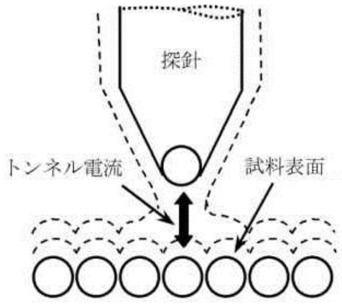


図３　実格子ユニットセル　図４．逆格子ユニットセル

4-1-3．STM（走査トンネル顕微鏡）について

・原理

先端を原子レベルに尖らせた探針を，観測する試料に数ナノメートル以下に接近させ，電位差を与えると探針と試料の間にトンネル電流が流れる．探針を走査させ試料との間のトンネル電流を検出することで，試料表面の凹凸を画像化することができる．走査方法には２種類あり，１つは探針－試料間の距離を一定にして探針を走査させる Constant Height モード（CH モード）である．もう１つは探針－試料間に流れるトンネル電流が一定になるように探針を上下させながら走査させる Constant Current モード（CC モード）である．観測に用いる探針は私達で製作している．探針の先端を原子レベルに尖らせることができるかどうかが，STM で精度のよい観測をするための一番の問題点である．



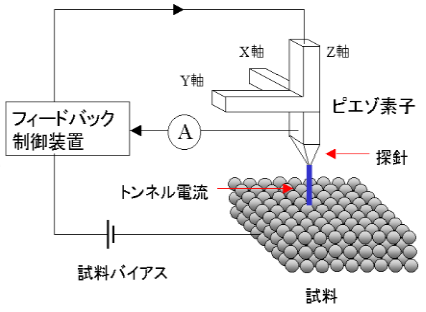


図５　STM の原理

・探針製作

探針の製作には電解研磨法を用いた．図６に電解研磨装置の構成図を示す．
探針にはφ0.35ｍｍのタングステンロッドを使用した．環状電極には白金電極を使用した．電解研磨を行う前に，タングステンロッドの表面を超音波洗浄した後，ラッピングフィルム等で機械研磨し探針の精度を高めた．電解液には水酸化ナトリウム溶液を用いて行った．研磨の方法は，白金電極を電解液に浸した後，液面から白金電極を液面を持ち上げるようにわずかに上方に動かして固定する．この時，図６に示すように白金電極の内外では表面張力によって液面差ができる．タングステンロッドは白金電極の中心にセットし，高さはタングステンロッドの先端が，表面張力によりできた液面差のちょうど中間あたりに入るようにする．それからタングステンロッドと白金電極との間に定電圧Ｖを加える．この電圧Ｖが大きいほどタングステンワイヤは速く溶断し，逆に小さいほど溶断にかかる時間は長くなる．時間が経つと徐々に流れる電流が減少していき，タングステンワイヤが溶断すると急激に電流が減少する．この時に電源を切り，探針を装置から取り外し，超純水で洗浄する．その後，ライターであぶり，水分を蒸発させる．それから探針をホルダーに取り付け，STM 内に搬入する．

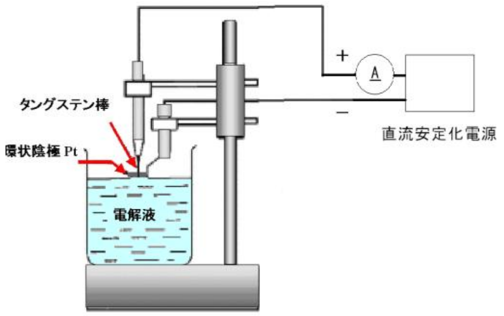


図６　電解研磨装置の構図と概観

4-2. 実験過程

4-2-1. 超高真空の実現

超高真空を得るまでの過程は，まずロータリーポンプ(RP)とターボ分子ポンプ(TMP)を用いてチャンバー内を 10^{-7} [Torr]台の真空にする．次に，真空チャンバー内壁に吸蔵されているガスを出すためにベーキングという作業を行う．ガスが出ることで１度悪くなった真空度が再び良くなり始め，一定の値で飽和する．ベーキングは24時間以上，できれば48時間程度行うのが望ましい．そして，ベーキング終了直前に真空計，イオンポンプ(IP)，チタンサブリメーションポンプ(TSP)を順に作動させ，それぞれのガス出しを行う．このローテーションをベーキング終了後，チャンバーが高温であるうちにさらに２回行う．その後，チャンバーが冷え切ってもリークがなければ，10^{-9}～10^{-10} Torr台の真空度を得ることができ，以後はRP，TMPを停止させ，IP，TSPを用いることで 10^{-11} Torr台を得ることも可能となる．

4-2-2. 清浄表面の実現

通常，試料表面は，不純物が付着し汚染されている．その試料に付着した不純物を除去した表面のことを清浄表面という．清浄表面を得るにあたり，次に挙げるプリベーク，フラッシングがある．

１）プリベーク

試料に行う前処理のことで，超高真空中で試料を通電加熱し，６００℃で１０時間以上放置することで試料表面，内部からガス出しを行う．

２）フラッシング

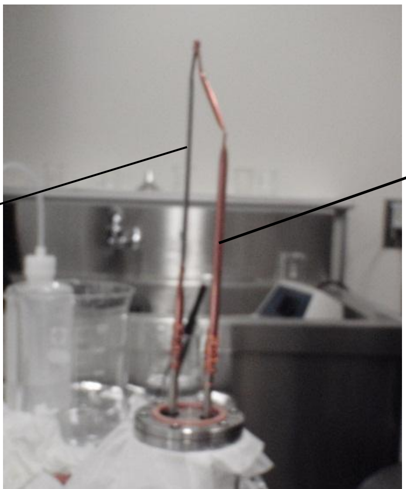
試料を融点近くまで通電加熱し，試料表面に吸着している不純物を脱離させることをフラッシングという．プレベーク終了後，試料温度を常温まで冷やし，再び通電加熱によって試料温度を約８００℃まで上げる．試料温度を８００℃から１２００℃までの範囲で素早く上下させることによって，８００℃付近でSi表面の酸化膜を，１２００℃付近でSi炭化物を脱離させる．

フラッシング終了後，試料温度を徐々に冷やすことを徐冷という．大体0.5℃/sで徐冷を行った．こうすることで清浄表面を得ることができる．

4-2-3. 蒸着

本研究では図７のようなタンタルチューブを使った「砲台型」と呼ばれる蒸着源を使用した．これは突き出たタンタルチューブにより，Si試料への狙いがつけやすいという利点を持つ．

蒸着法の原理は次のようなものである．蒸着源の両端を外部電源に接続し，電流を流す．銅とタンタルの抵抗値の違いによりタンタル部にジュール熱が発生する．発生したジュール熱により，タンタル部に入れておいたAgが昇華し，Siに蒸着される．



銅

タンタル
チューブ

図７　蒸着源

5. 実験結果

5.1　Si(111)

・Si(111)清浄表面について

Si(111)清浄表面の単位格子は DAS(Dimmer Ad-atom Stacking-fault)構造と呼ばれ，表面再構成構造の中でも最も複雑なものである[7]．図８に DAS 構造のモデルを示す．

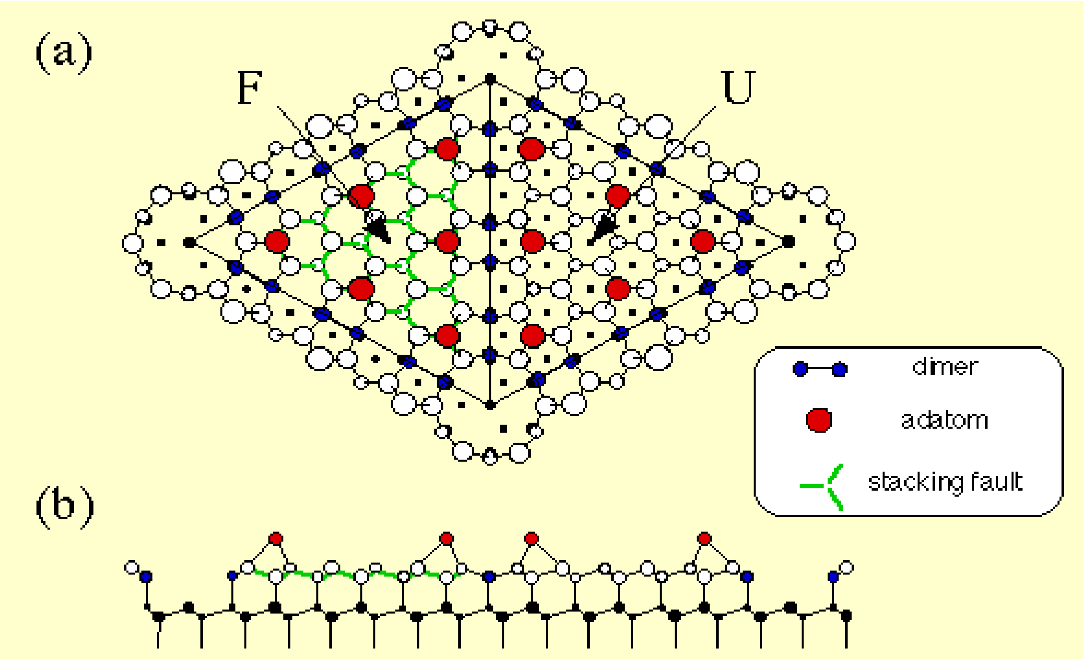


図８　Si(111) 7×7 DAS 構造のモデル[3]

・STM による解析結果

次に，Si(111)清浄表面の STM 像を図９に示す．広い範囲で DAS 構造が確認できる．

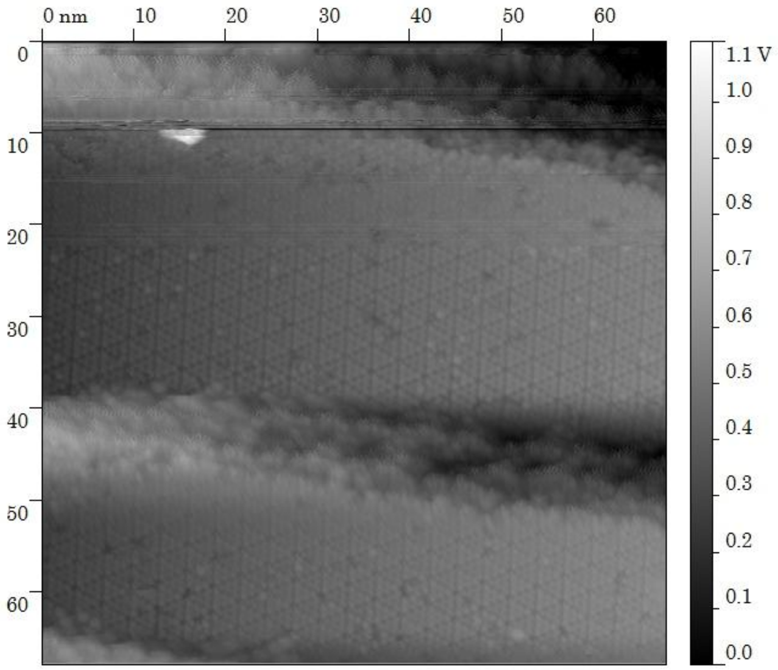


図９　Si(111)清浄表面(フラッシング温度 1230℃ Vs=-2.0[V] current=0.5[nA],constant current)

5.2　Ag/Si(111)

・Ag/Si(111)の表面構造

Si(111)に Ag を 300℃以上で蒸着またはアニールすると$\sqrt{3}\times\sqrt{3}$構造を形成する[7]．図 10 に Ag/Si(111)の構造モデルを示す[7]．図の小さな白丸と中間サイズの白丸が六角形の配列を作っており，Si(111)面の 2 原子層に対応する．その上の 1 原子層の Si 原子を大きな白丸で示したが本来，中間サイズの真上に来るべきものが 3 つ集まり 3 量体（トライマー）を形成する．Ag 原子は Si のトライマーの逆向きの大きなトライマーを形成する．

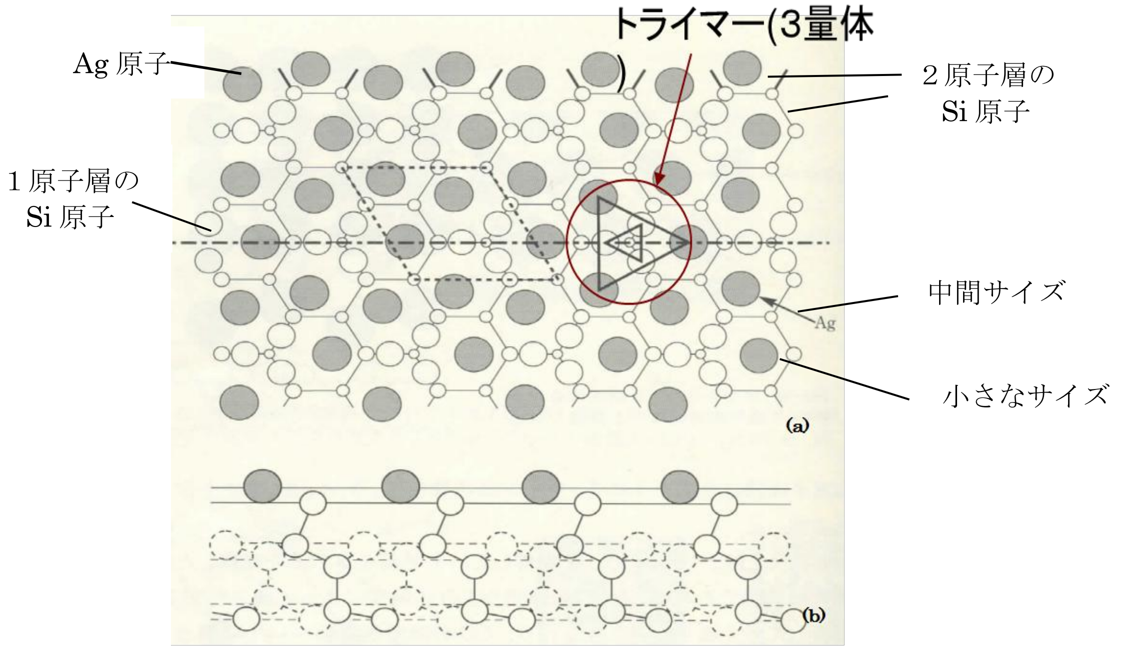


図１０　Ag/Si(111)の構造[4]

図 11 に Ag/Si(111)の STM 像を示す．画像を見てみると Ag の 3 量体（トライマー）を確認できる．また規則的に並んでいるのも確認できる．

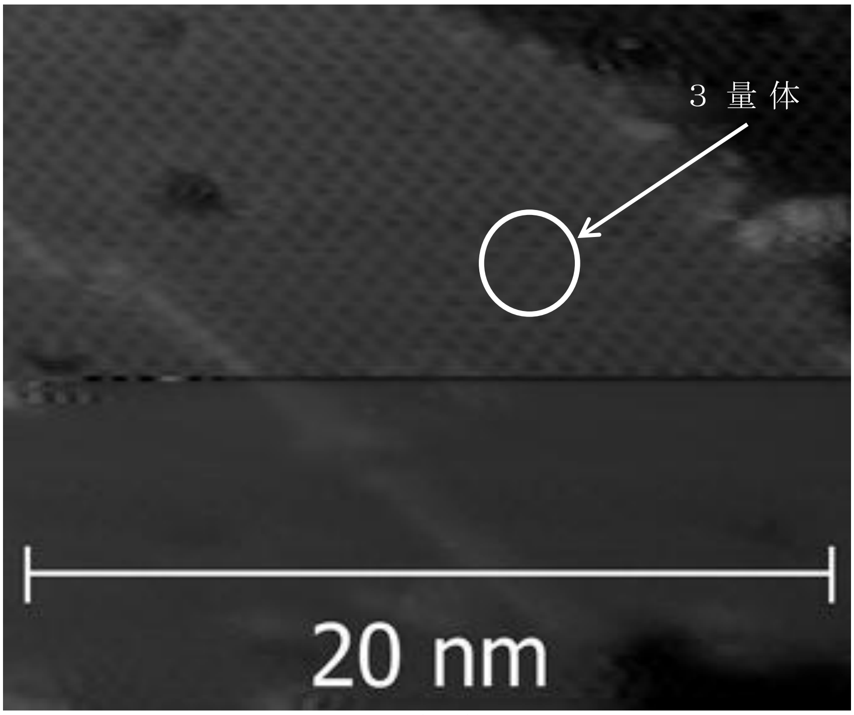


図１１ Ag/Si(111)の STM 像
（アニール条件 500℃ 4 分，Ag 吸着時間 30 秒）
(Is=0.4[nA]，Vs=1.5[V]，constant current)

5.3　Si(113)

・Si(113)の表面構造

図 12 に Si(113)清浄表面のモデルを示す[8]．図 13 に Si(113)の STM 像を示す．

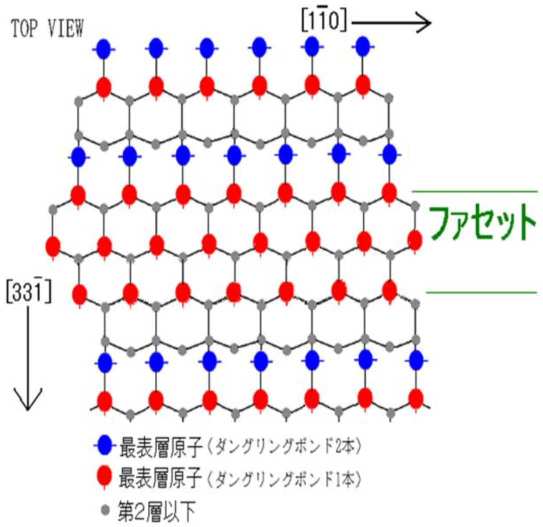


図１２．Si(113)清浄表面[8]

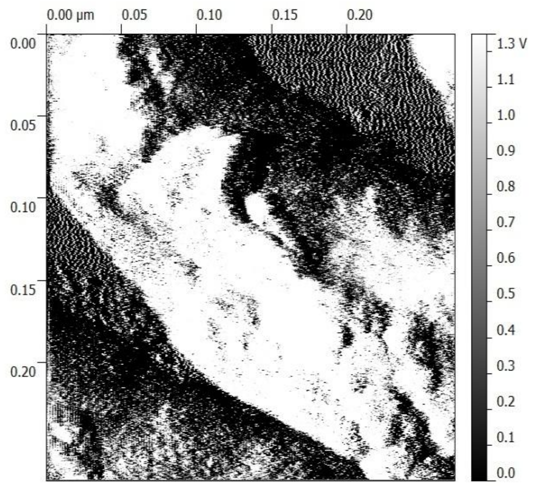


図１３．Si(113)の STM 像
(フラッシング温度　1125℃)
（Vs = 2[V] ,Is=0.4[nA], constant height）

図１１では平坦な表面を得ることができなかったため，再びフラッシングを行った．フラッシング後 STM にて表面解析を行おうと試みたところ，試料と探針が近づかなくなり，STM での解析が行えなくなった．このため次に行おうとしていた Ag/Si(113)の観測も不可能になった．

6. まとめ

今回の実験では蒸着源のタンタルチューブを長いものに変え，強く電極に固定できるように改良を加えたため，前回までの蒸着源と比べ，低電流で放出部を高温に保つことができ，安全で安定した実験を行うことができた．

Si(111)においてはフラッシング温度を 1230℃でフラッシングを行い，0.5℃/s で徐冷したところ 7×7 の DAS 構造が並んで現れ，原理通りの Si(111)の清浄表面を観察することができた．

Ag/Si(111)においては蒸着時間が 30 秒でアニール時間と温度がそれぞれ 4 分，500℃の場合，Ag 原子のトライマーが規則的に並ぶのが確認できた．また，蒸着時間が 10 秒でアニール条件が同じ場合, √3×√3 構造が形成された領域と DAS 構造が形成したままの領域が共存する領域を確認できた．

Si(113)においてはフラッシングがしっかり行われていなかったため，アイランドが形成され清浄表面を観察することができなかった．

今後は Ag/Si(113)について蒸着時間やアニール温度の違いなどの諸条件下での構造を，STM などで詳しく解析していく予定である．

7. 参考文献

[1] Harumo Morikawa, et.al., Surf.Sci, pp3745-3753, (2008)
[2] M.Naitoh, et.al., Surf.Sci, pp377-379,(1997)
[3] N.Oishi, et.al., Appl.Surf.Sci, pp212-213,(2003)
[4] H.Nakahara et al, Surf.Sci, pp440-441,(1993)
[5] R.A.Zhachuk, et al, Surf Sci, 565, pp40-44,(2004)
[6] 小間篤　他著，表面科学入門，丸善株式会社, pp14-13 , (1994)
[7] 小間篤　他著，表面科学入門，丸善株式会社, pp52-53 , (1994)
[8] 栁川昌史, Si 表面における Bi 誘起新構造の解析, p19, (2007)

番　　号	E-３２	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）誘導加熱用発振源に関する検討
（副題）

研 究 者 （ 連 名 者 ）	原田　起伸
所　　　属	電子工学科
指　導　教　員	伊山　義忠（教授）

1. はじめに

現代社会における半導体技術はめざましい発展を遂げ、それに伴って私たちの生活に欠かせないものとなっている。しかし、半導体製品を作る上でやはり大事なのはもととなる半導体の生成である。シリコンインゴットを作る際に、加熱したいものだけを加熱できる誘導加熱が使われている。多くの方面で利用されている誘導加熱に興味を持った。

誘導加熱は、高周波の電流をコイルに流すことで被加熱体を加熱させるが、本研究では誘導加熱には欠かせない発振器について検討することにした。発振器にはさまざまなものがあるが誘導加熱において交流の電圧が大きいものがより加熱する際に必要と考え、出力の大きくとれる発振器の１つである無安定マルチバイブレータを選んだ。製作した発振器の特性評価をすることで、誘導加熱に用いることのできる発振器の製作・検討を目標とした。

2. 無安定マルチバイブレータの製作

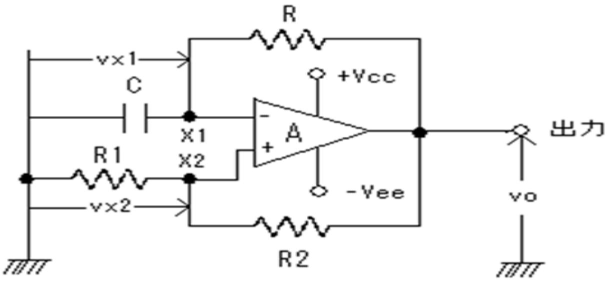


図１　オペアンプ用いた時の基本回路

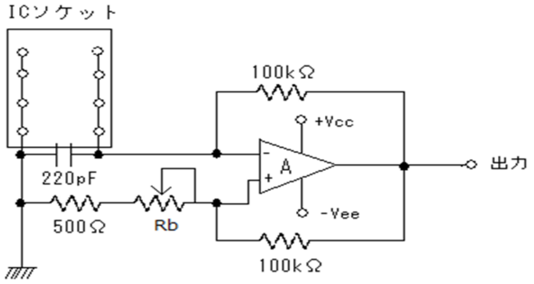


図２　製作した回路

図１の基本回路をもとに図 2 に示すようなオペアンプを用いた無安定マルチバイブレータを製作した。抵抗 R1 は値を変化できるように可変抵抗器と定抵抗の直列回路を用いた。また、容量 C も変えられるように IC ソケットを使用し装着するコンデンサによって並列回路で容量の加算で変化させるようにした。

3. 測定結果

オペアンプを TL061CP、TL071CP、TL081CP、NJM5534D の 4 種類で、Rb=5[kΩ]、10[kΩ]のときそれぞれで容量 C を変化させ、ディジタルオシロスコープで周期・周波数・Vpp・立ち上がり時間を出力波形から測定した。測定結果の一例を表 1 に示す。また、得られた出力波形の例を図 3 に示す。図 4 は Rb を低くしていった時に、方形波の発振器で知られている無安定マルチバイブレータから得られた正弦波のような波形であり、得られた波形を FFT によって解析したのが図 5 である。

表１　測定結果の一例

容量C	周期T（実測値）[us]	周波数f[Hz]	Vpp[V]	立ち上がり時間tr[us]	周期（理論値）[us]
220[pF]	30.08	33240	33	10.67	8.39
440[pF]	39.18	25520	33.2	10.6	16.77
2420[pF]	111.6	8961	33.2	10.77	92.26
4920[pF]	233.9	4760	33.2	10.58	187.57
10.22[nF]	450.9	2218	33.2	10.67	389.63
22.22[nF]	795.5	1257	33.2	10.72	847.12
47.22[nF]	2231	448.2	33.2	10.8	1800.22
100.22[nF]	3931	254.4	33.2	10.82	3820.79
220.22[nF]	8614	116.1	33.2	10.74	8395.68

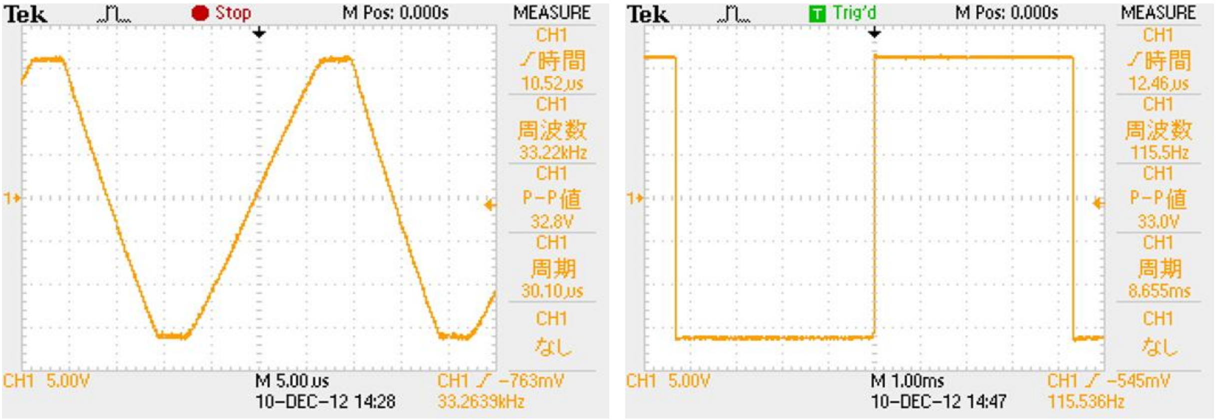


図 3　製作した無安定マルチバイブレータから得られた出力波形の例

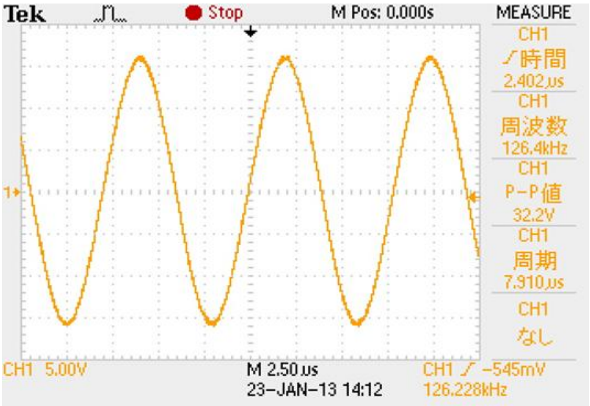


図 4　得られた波形

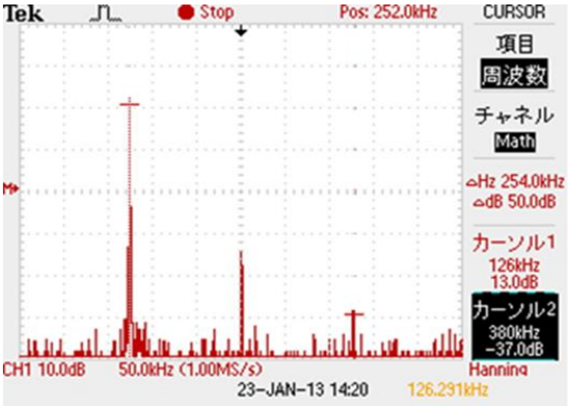


図 5　得られた波形のスペクトル

周期を比較してみると、容量の低いとき実測値と理論値は大きく異なっている。立ち上がり時間と理論値のずれを比べると、立ち上がり時間が遅いほど理論値と大きくずれ、反対に立ち上がり時間が早いと理論値と近い値となる。立ち上がり時間が遅い場合、立ち上がり時間と立ち下り時間は同じとなっているので、周期の短い高周波の波形では繰り返し周期の内の立ち上がり時間と立ち下り時間が多くなってしまうから理論値とのずれが生じると考えられる。

振幅である Vpp を比べるとオペアンプが変わってもほぼ等しい値になっていることがわかる。これは、オペアンプの電源電圧から正の電圧は+17[V]、負の電圧は−17[V]まで出力できる。よって、最大の出力は 34[V]の振幅を得られるはずであるが、34[V]より出力波形の振幅が低いのはオペアンプ内での電圧降下や、各素子で電圧降下が影響していると考えられる。

立ち上がり時間を比較してみると、容量 C を変化させても立ち上がり時間はさほど変化していない。変化していないことから立ち上がり時間は、オペアンプ自体の特性によって決まると考えられる。

図 5 より FFT によるスペクトルの解析から得られた波形には 126[Hz]、252[Hz]、378[Hz]の成分が含まれていることがわかった。126[Hz]の成分に比べて、252[Hz]、378[Hz]の成分の大きさは小さいのでほとんど 126[Hz]の正弦波といえる。

4.　まとめ

オペアンプによる無安定マルチバイブレータを製作し、その特性評価を行った。ここから、出力　波形の振幅はオペアンプの電源電圧により変わり比較的大きな振幅を得られること、出力波形の立ち上がり時間は容量 C や抵抗に関係なくオペアンプの特性によって決まること、発振周期を小さくするとオペアンプの特性から影響を受け理論通りの波形を得られないこと、綺麗な方形波を得るにはある程度の周期の長さが必要であることがわかった。

また、方形波の発振器と知られている無安定マルチバイブレータで正弦波を得られることは大きな発見である。しかし、このときの発振の状態や原理は詳しくわからなかったので、今後検討していく必要がある。

そのほかにも、オペアンプの特性がどのように製作した無安定マルチバイブレータに影響しているのかもはっきりしていないのでこちらについても検討が必要である。

番　　号	E-３３	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）10GHz 帯ドップラーセンサーの検出エリア評価
（副題）

研究者（連名者）	橋本　美香
所　属	電子工学科
指導教員	伊山　義忠（教授）

１．はじめに

現代社会において、センサーは私たちの生活を様々な面で便利にしている。そこで、自動ドアや、自動車など身近な製品に使用されており、また防犯という面でも活躍しているセンサーに興味を持った。人間や動物のわずかな動きを検出するセンサーは「動体センサー」「人感センサー」「近接センサー」などさまざまな呼び名で呼ばれている。動作原理としては、赤外線を検出する焦電センサーを使ったものが広く普及しているが、このほかに電波の反射に伴うドップラー効果を利用したものがある。ドップラー効果を利用したセンサーはドップラーセンサーと呼ばれ、自動ドアのセンサーや防犯用センサーなどに用いられている。また、近年は福祉分野でも利用されている。本研究では、ドップラーセンサーの製作ならびに、検出エリアの評価実験を行った。ここでは、その結果について述べる。

２．ドップラーセンサーについて

ドップラーセンサーはドップラー効果を利用したセンサーを指す。ドップラー効果は一般に音源と観測者の間に相対運動があると、音源が静止しているときの振動数と異なる振動数の音が聞こえる現象である。例として身近なものは、通り過ぎる救急車のサイレンの音程変化が挙げられる。救急車が近づいてくるときは高く聞こえ、遠ざかるときは低く聞こえる。電波も同様で、観測者から物体が遠ざかるときは電波の波長は伸び、近づくときは縮まるように観測される。人感センサーとしては赤外線センサーがよく用いられるが、赤外線は基本的には光の性質を持ち、太陽光線の当たる場所や雨や雪、粉塵の舞う場所等での使用が困難である。それに対し、無線センサーの信号は微少な物体には影響されず、ガラスや布、アクリル等、非金属の薄い物質は透過する。また、気象状況や設置する環境の影響を受けにくい。そのため、センサーを室内に設置して屋外の監視を行うことや、 赤外線センサーの苦手とする悪環境での使用に適しており、センサー部分を隠すことができるというメリットがある。

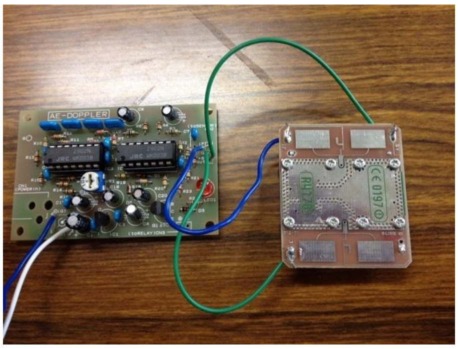


図１. ドップラーセンサー

３．検出エリア評価

（１） 評価方法

センサーが反応できる範囲・角度を調べるため以下の手順で行った。測定の様子を図２に示す。

① 固定したセンサーの周りのおおまかな測定点を決める。
② 測定点に動体を置く。
③ センサーが反応するか確かめる。
④ 反応した場合は×印、反応しなかった場合は○印を書いておく。
⑤ 座標をまとめる。

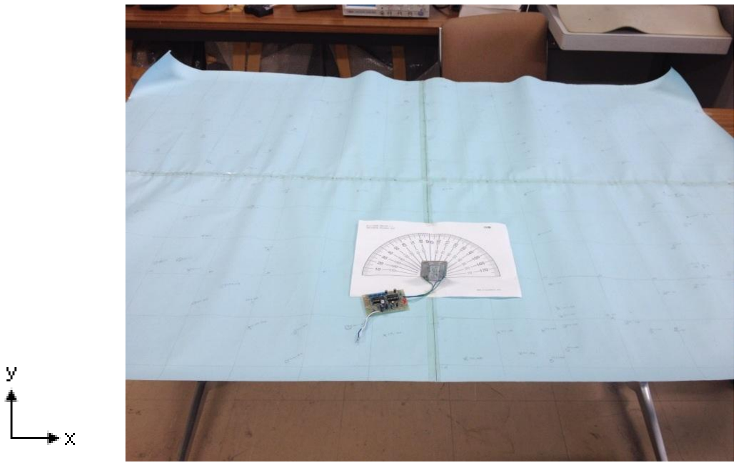


図 2. 測定の様子

（２）結果

測定結果を図 3 に示す。

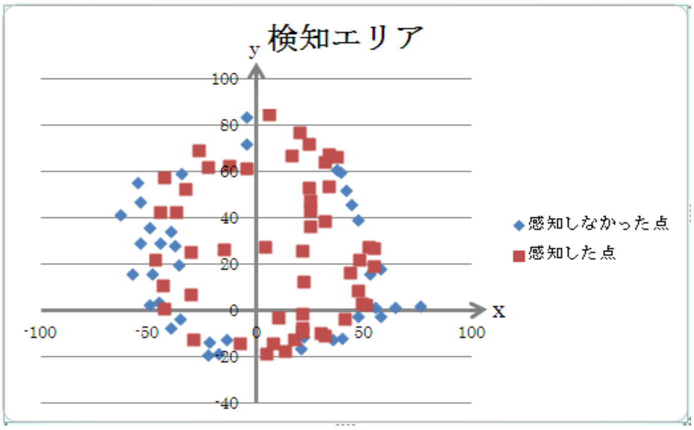


図 3. 検知エリア

（３）考察

センサーの感知する角度は、仕様値では約 120° であるが、本測定では図 3 のように 360° となっている。この原因としてセンサーから測定点までの距離が近いためと考えられる。これより、このドップラーセンサーモジュールの電波は近距離では、センサーの周辺にも放射されていると考えられ、より遠い距離での測定も必要であったと思われる。

センサーの感知した点と感知しなかった点が混在しているのは、本測定において使用した動体の動きが、角度が約 20° でタイヤの半径が 1.75cm であるから、正面からみた場合の距離の変化はとても小さいものとなるので、感知することができなかったと考えられる。

また、決まった方向にしか動かさなかったので、左右での検知距離が若干異なった。ドップラーセンサーは動体との距離を検知するので、センサーに対しての距離変化が見られなかった場合には検知できない。

４．まとめ

本研究においては、まずドップラーセンサーの製作を行った。次いで、身近なものを用いてその特性評価を行う方法について検討した。さらに、自ら考案した方法によって、センサーの検出エリアの評価を行った。製作するだけでなく回路に使われている各素子の役割をひとつひとつ知ることができたことは自分にとって大きい。センサーと聞くとどんな難しい回路が組まれているのかと思っていたが、授業で学習したものの組み合わせで作れることがわかった。検出エリアを調べる際、広い場所で人が動いてモジュールのもつ本来の検出エリアと比べてみたかったが、電波法の規制によって屋外での使用が禁じられているためその実施はできなかった。

番　　号	E－34	発表年月日	平成２５年２月２２日

（題名）ドップラーセンサーモジュール用 10GHz 帯 BPF の特性シミュレーション
（副題）

研究者（連名者）	宮城　弘佑
所　　属	電子工学科
指導教員	伊山　義忠（教授）

1. まえがき

わが卒研室では超高周波コンポーネント/デバイスに関する研究を行なっており、私はその応用分野でマイクロ波を用いるドップラーセンサに興味を持った。
ドップラーセンサは発射したマイクロ波の反射波を受信し、発射した周波数と受信した周波数の差から動体を検出するドップラー効果を利用したセンサである。
マイクロ波ドップラーセンサはマイクロ波を空間に向けて送信し、物体での反射波を受信するという方法で用いる。ここで目標物が動いている場合、その速度に比例して受信波の周波数がシフトする。この送信波と受信波の周波数の差で物体の移動、あるいは速度を知ることができる。
このような用途であるため、ここで用いられている電波の周波数帯域は比較的狭いものとなり、その帯域に特化した性能が、装置に求められることになる。
このようなセンサシステムの中には、様々の超高周波コンポーネントが用いられているが、このうちの受動回路コンポーネントであるフィルタに注目して特にその狭帯域特性に関してシミュレーションによる研究を行った。

2. フィルタについて

まず、電波のフィルタとは、すなわち文字通り「与えられた信号の特定周波数成分を取り除く・濾過する」という意味がある。ある特定の周波数の信号を通過させ、他の信号成分は消去したり、減衰させたりするコンポーネントのことを言う。
通過する周波数成分が集って通過帯域(passband)を構成し、減衰させられる周波数成分がフィルタの阻止帯域(stopband)となる。通過帯域や阻止帯域が周波数領域のどこにあるかによってフィルタは低域通過、高域通過、帯域通過、帯域消去、全域通過などに分類できる。
また、フィルタには次数(order)という構成される回路素子の数によって定まる概念があり、次数が高くなればなるほど、通過帯域と阻止帯域とが明白に分離されるようになり、良いフィルタとなる。このように遮断特性が急になる一方で、通過損の増加や、素子変動による特性変動の増大などの課題も生じる。

3. BPF のシミュレーション結果
3.1BPF 全体

ここでは、直列共振回路と並列共振回路とを組み合わせた構成の BPF を取り上げた。この BPF について、中心周波数 f_0 は変えずに、バンド幅 Bw を変えることによってどのような特性の変化が見られるか下の表 1 に示すようにシミュレーションを行なった。

表１　中心周波数とバンド幅

中心周波数(GHz)	バンド幅 Bw(GHz)
1	0.001
1	0.005
1	0.01
1	0.1
1	0.2
1	0.5

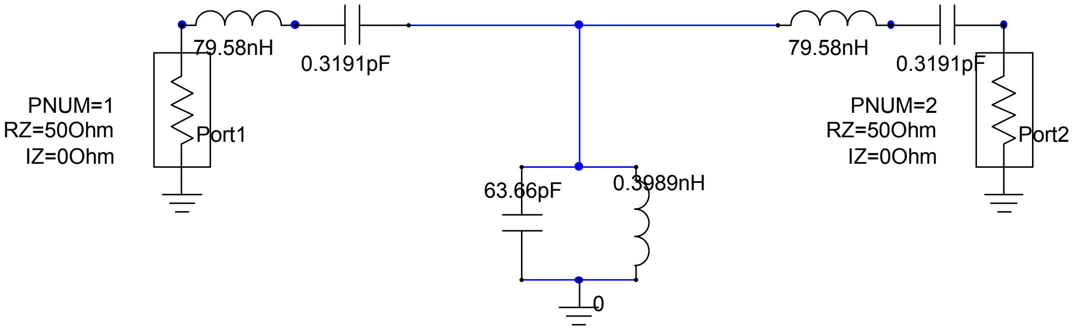


図１　BPFilter(Bw=0.1)

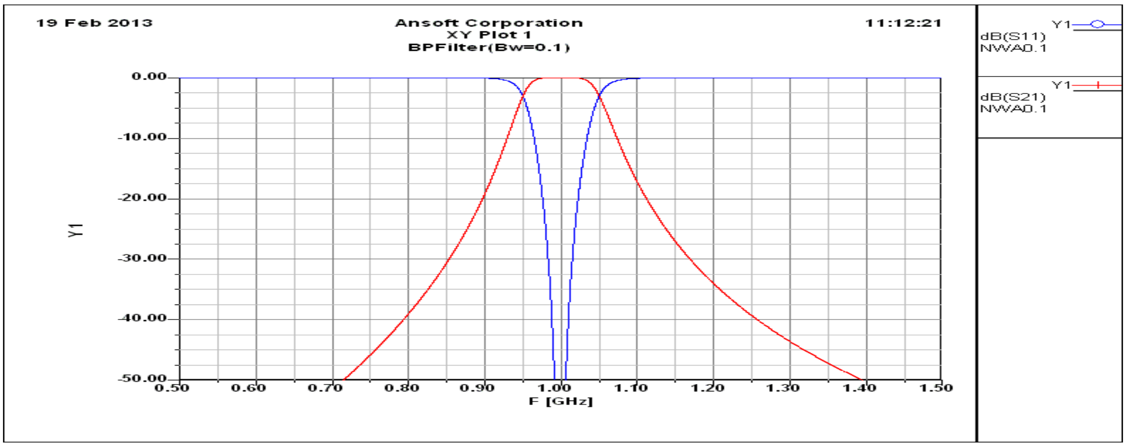


図２　Bw=0.1 時の周波数特性

3.2　BPF の各構成要素

この BPF の直列部、並列部のみを抜き出し、それぞれの回路のみの特性シミュレーションも同様に行なった。このときのバンド幅は Bw=0.1 一定で行なうとする。
このシミュレーションによって、BPF の特性が、直列共振回路ならびに並列共振回路の特性の重ねあわせによるものであるかを検証した。

４.まとめ

今回行ったシミュレーションにより、Ansoft Designer SV において簡単なアクティブ回路の解析が可能であるという確認を取ることができた。直列共振回路と並列共振回路とを組み合わせた構成の BPF を取り上げ、この BPF について、中心周波数 f_0 は変えずに、バンド幅 Bw を変えることによってどのような特性の変化が見られるかシミュレーションを行なった。

また、この BPF の直列部、並列部のみを抜き出し、それぞれの回路のみの特性シミュレーションも同様に行なった。このシミュレーションによって、BPF の特性が、直列共振回路ならびに並列共振回路の特性の重ねあわせによるものである様子が確認された。

番　　号	E-35	発表年月日	平成 25 年 2 月 22 日

（題名）SiC 素子を用いたスイッチング回路に関する研究
（副題）

研究者（連名者）	妙玄　翔太
所　　属	電子工学科
指導教員	伊山　義忠(教授)

1.まえがき

原発稼働に対応する形での大規模な太陽光発電の導入、日本でも近年実用化に向けての研究が進んできているスマートグリッドなど、従来とは異なるエネルギー対策が注目を集めてきている。このような背景の中、地球環境の保護やエネルギー問題への対応の観点から、小型、軽量で、消費電力の少ない装置に対して期待が高まっている。

モータや家電製品において、その電力制御のために、コンバータやインバータのような変換効率が高いスイッチング電力変換回路が適用されている。従来、コンバータやインバータなどに用いる半導体素子としては、従来から広く Si のスイッチング素子が使用されている。しかし、近年インバータ装置の高周波数化に伴い、Si 素子ではオン抵抗が高く、導通損失が大きくなり、電力変換効率の低下や、スイッチング特性等に限界がある。そこで、次世代素子として高耐圧に優れ、大電力使用時に問題となる耐熱性が高く、さらにオン抵抗が低い材料である SiC を使用した素子が注目され、この SiC 素子を使用した機器の開発と実用化が進められている。具体的には、サーバの電源やエアコン、太陽光発電システムのパワーコンディショナ、電気自動車（EV）用急速充電器、鉄道の電力変換装置などの電力効率を高める用途で、徐々に採用が広がっている。

ここでは、この SiC をスイッチング素子として用いる場合の基本的検討として、並列スイッチの電気特性について検討した。

2.SiC について

SiC とは炭化ケイ素のことであり、その最大の特徴は、下記の①、②である。①バンドギャップが 3.25eV と従来のシリコンに比べて 3 倍。②絶縁破壊にいたる電界強度が 3MV/cm と Si の 10 倍。ここで、バンドギャップや絶縁破壊電界の値が大きいほど耐圧が高くなり、絶縁破壊電界も大きくなる。その結果、素子を薄くできるため、抵抗(オン抵抗)を引き下げることができ、損失を小さくできる。こうした特徴によって、まえがきにも述べたとおり、従来のシリコンより小型、低消費電力、高効率のパワー素子、高周波素子と優れた半導体素子として期待されている。表 1 に、他の半導体と比較した電気特性をまとめて示す。また、図 1 に SiC を用いた MOSFET の断面構造図を示す。

表 1.Si と SiC の特性比較

	Si	SiC	SiC /Si
バンドギャップ E_G(eV)	1.12	3.2	2.9
絶縁破壊電界 E_C(V/cm)	$3x10^5$	$2.2x10^6$	7.3
電子移動度 μ(cm^2/V・s)	1450	1000	0.7

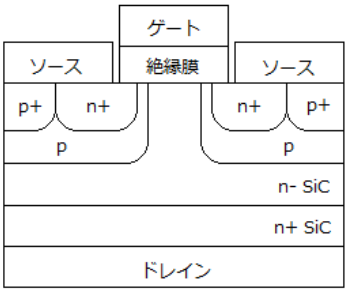


図 1. SiC MOSFET の構成図

3.スイッチの構成
3.1.SPST スイッチ
　SPST スイッチとは単極単投とも呼ばれ、端子が 2 個あり 1 つが入力ポート、もう片方が出力ポートとなっている。スイッチが on になれば導通となり電流が流れ、off になれば遮断となり電流は流れなくなる。教科書に載っている回路でよく使われているスイッチが SPST スイッチである。スイッチにおいては、MOSFET のドレイン・ソース間のインピーダンスをゲート電圧で制御することにより、スイッチング動作を実現している。

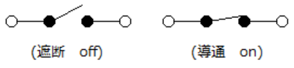
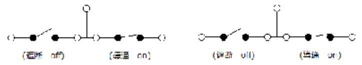


図 2.SPST スイッチの例

3.2.SPDT スイッチ
　SPDT スイッチとは単極双投とも呼ばれ、端子が 3 個あり、1 つが入力ポート、他の 2 つが出力ポートとなっている。入力ポート 1 と出力ポート 1 が導通すれば、出力ポート 1 側が on で出力ポート 2 側が off となり、入力ポート 1 と出力ポート 2 が導通すれば、出力ポート 1 側が off で出力ポート 2 側が on となる。

ⅰ)シリーズ構成　　　　　　　　　　ⅱ)シリーズ/シャント構成



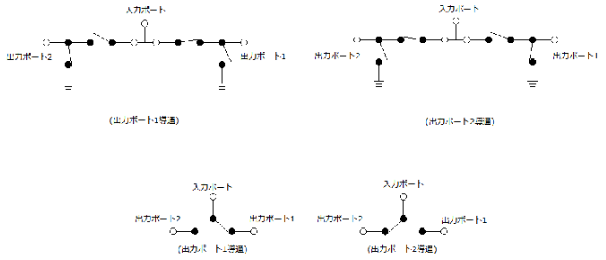
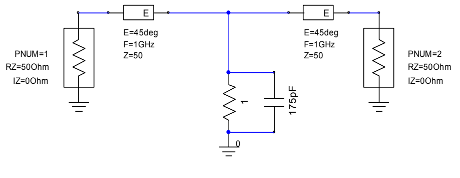


図 3. SPDT スイッチ　シリーズ構成の例　　　図 4.SPDT スイッチ　シリーズ/シャント構成の例

4.シミュレーション
　ここでは、3 章で述べたスイッチ構成のうちで、シリーズ/シャント構成の SPDT に用いられている基本的な SPDT スイッチである。シャントスイッチについて、検討を行なった。図 5 にシミュレーションの等価回路を、図 6 に計算例をそれぞれ示す。



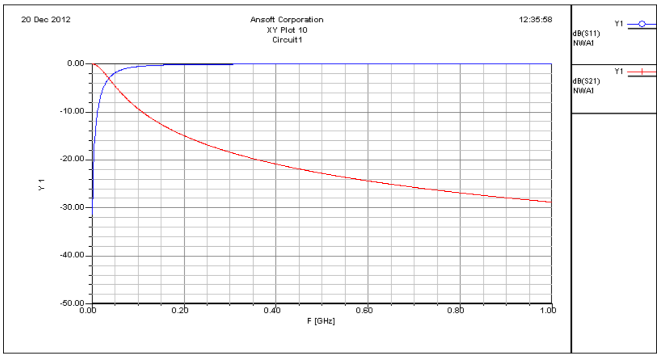


図 5.シミュレーション等価回路　　　　　図 6.シミュレーション計算例

番　　　号	E-36	発 表 年 月 日	平成 25 年 2 月 22 日

（題名）　OpenCV を用いた顔認識ソフトの開発

（副題）

研究者（連名者）	中原 優
所　　属	電子工学科
指導教員	松尾和典（准教授）

1.はじめに

防犯カメラなどの顔認識技術の進化は目覚しいものがあり，さまざまな分野で実用化されている．例えば，コンピュータ遠隔操作の真犯人を逮捕する上で大きく貢献した．そこで，画像処理に関する知識及びプログラミングのスキルを身につけたいと考え．本実験では顔認識のアプリケーションを作成し，その特性を調べた．

2.OpenCV

顔認識プログラムを作成するにあたり，コンピュータによる画像処理に必要な各種機能を提供してくれている OpenCV を利用した．OpenCV は無料で入手することができる．

コンピュータによる画像処理の専門知識がない人でも、OpenCV を使えばエッジを抽出したり，ぼかしたりといった画像処理プログラムを簡単に組むことが可能である．

3.画像認識

画像認識は，大きく分けて学習フェーズと認識フェーズの２つで構成されている．

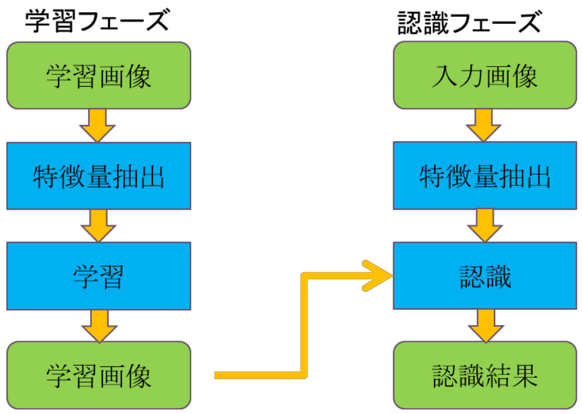


図1.画像認識概略

●学習フェーズ

画像になんらかの処理を施して，ピクセルのデータ列から，より学習に適したデータ列（特徴量データ）へと変換する．変換されたデータを，機械学習を用いてコンピュータに学習させる．

機械学習とは，その名の通り人間が行っているような学習の仕組みをコンピュータに持たせるための技術のことである．

●認識フェーズ

コンピュータに入力画像が学習した対象かどうかを判定させる．学習フェーズと同様に入力画像を特徴量データへ変換する．そして，変換されたデータを機械学習で抽出された判別ルールに基づいて，そのデータが何を表しているかを判別する．

※学習フェーズにおける学習アルゴリズムに Adaboost 法を，画像特徴量には Haar-Like 特徴量を採用した．

4.AdaBoost 法

単体では判別能力の高くない識別器を，たくさん繋げることで判断能力の高い識別器を作るという考え方の学習・判別アルゴリズムを AdaBoost 法と呼ぶ．次ページの図２にその概略図を示す．

5. Haar-Like 特徴量

図２に示す丸や三角の代わりに，Haar-Like 特徴量が使われる．これは，鼻筋の天辺が鼻筋の両脇よりも明るいといった，明るさの違いを利用した特徴量である．図３に特徴量検出器をいくつか示す．

6. Attentional Cascade

強識別器を複数連結（カスケード）することで，精度と速度を改善している．これは，1 つめの識別器で非オブジェクトと判断されたものは，それ以上の処理は行われずに終了し，1 つめでオブジェクトとして判断された場合は，2 つめの識別器へ通される．同様に 2 つめの識別器で非オブジェクトであると判断されたものは弾かれ，それ以外の画像が 3 つめの識別器へ渡されるという処理を繰り返していき，上流の識別器では緩い判断基準で次々と疑わしい画像を排除していき，下流にいくほどオブジェクトの判断基準が厳しくなるというようになっている．

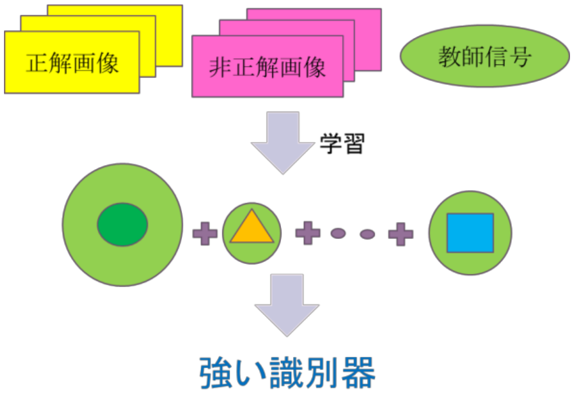


図 2 . AdaBoost 法

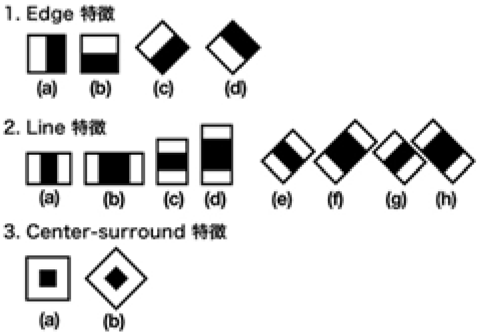


図 3 . Haar-Like 特徴量

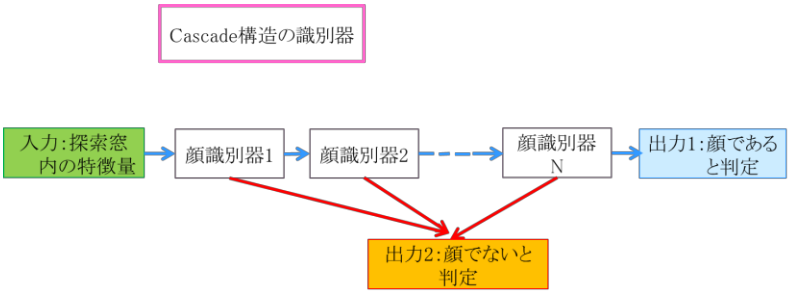


図 4 . Attentional Cascade

4.各分析器の限界

カメラの正面に人を配置する．配置された人はカメラに対し θ°回転し，その時の写真を撮る。撮影の際、回転方向によって顔の明るさが変化しないよう証明を当てることに注意する．その回転画像をそれぞれ分析器に入力し、出力を見ることで分析器の限界を調べる。

5.結果

5-1.正面顔認識

・通常時の範囲は 0°　～45°

・サングラス着用時の範囲は 0°　～30°

・サングラス&マスク&帽子着用時は全く認識しない

5-2.横顔認識に関して

・通常時及びサングラス着用時はカメラに対して右方向に回転する場合 60°　まで認識可能

・サングラス&マスク&帽子着用時は認識不可能

・左方向回転に関しては認識できない

6.考察

結果より，正面顔認識器においては目周辺の特徴量の重みが強いことがわかった。また，横顔認識器においては目周辺の特徴量の重みが弱いことがわかった．

また横顔認識器において，左回転方向画像を学習していなかったことがわかった．

番　　　　号	E -37	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）UNIX　OS を用いた仮想化サーバの構築

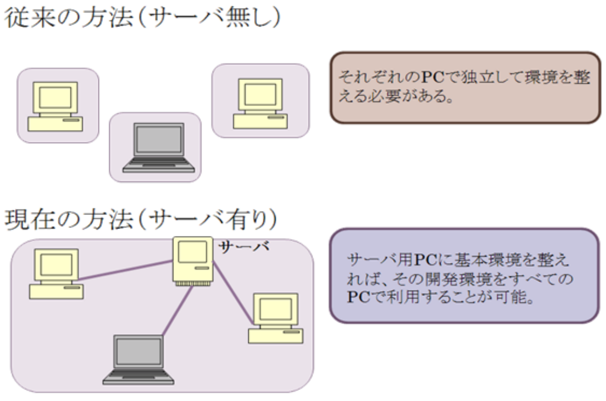
研究者（連名者）	仲摩　幸広
所　　　　属	電子工学科
指　導　教　員	松尾　和典（准教授）

1.研究背景

開発環境の整備には手間も時間もかかる．この作業が一人一人の PC ごとに行われるとすれば大変な労力であり，卒研の遅れの原因となってしまう．

サーバ用 PC を活用し，それに各種開発環境の整備・導入を行う．SSH 接続を用いて，図 1 のようにサーバ上に構築した開発環境を学外からでも利用出来るようにすることで，卒研室内での研究開発環境構築の労力を抑え，卒研の水準の向上を図ることが出来る．

今回は，ハードウェアリソースを有効活用できるように仮想 PC を用いて，サーバを構築する．



2.サーバについて

サーバとは，コンピュータネットワークにおいて，クライアントに機能やデータを提供するコンピュータのことである．サーバ機能を提供するソフトウェアには，データベースサーバやアプリケーションサーバ，ウェブサーバなどがあるが，本研究では，主に web サーバを利用する．

3.仮想化について

VirtualBox は，物理 PC の OS（ホスト OS）上で仮想マシンを構築することができるアプリケーションである．ア構築した仮想 PC に OS（ゲスト OS）をインストールし，利用することができる．仮想 PC はネットワーク上，物理 PC とは独立したマシンとして扱うことができる．

VirtualBox で仮想 PC の名前，メモリ，HDD の容量，データを保存する場所を設定して，好みの OS をインストールすることによって仮想 PC を構築することができる．今回使用したゲスト OS は，CentOS である．

OS のインストールは通常の PC へのインストールと同じ手順で行うが，その際にインストール後のデスクトップ環境を，マウスなどのポインティングデバイスによって行う GUI（Graphical User Interface）とすべての動作をキーボードによって行う CUI（Character User Interface）の二種類から選ぶことができる．

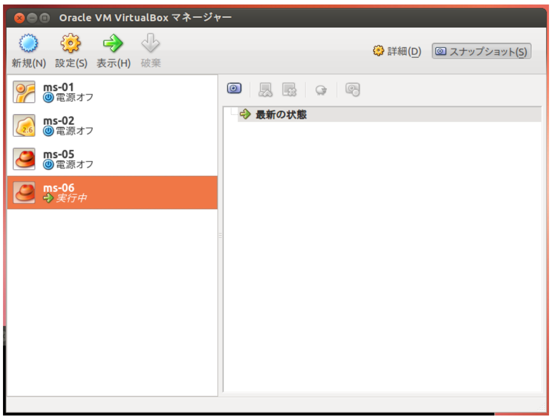


図 2.VirtualBox 起動画面

GUI は操作がしやすいが，動作が遅くなってしまう．その点，CUI は表示が文字だけであるために動作が軽いことや，複雑なことを実行する場合は CUI の方簡単にできる．一般的にサーバ OS はリソースを節約するように CUI である．よって，今回は CUI でインストールした．

4.リモート接続[1]

サーバの管理を効率的に行うには外部からの物理的なアクセスを制限するべきである．急に設定変更や動作確認などを行わなければならない場合も多いためリモート管理ができる接続を使用して管理することが一般的である．また，ユーザの権限を制限することによって，サーバに構築してある開発環境を利用することができる．

今回はSSH接続を使用したリモート接続の設定を行った．サーバ側でSSHDをインストールし，ログインユーザIDとパスワード等を設定することによって，クライアント側でリモート接続することができた．

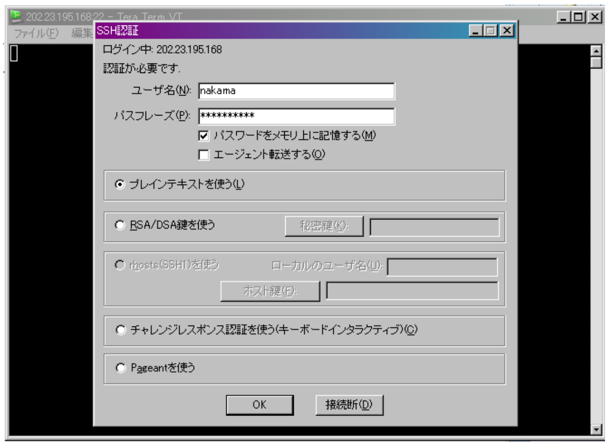


図 3.リモート接続のログイン画面

しかし，このままではユーザIDとパスワードを知っていれば誰でもログインすることができるためセキュリティの強化のため鍵認証を追加した．

鍵認証は、公開鍵（サーバ側）と秘密鍵（クライアント側）という暗号化された二つのファイルを接続の際に照らし合わせることによって認証するという仕組みである．この認証方式を用いることによって，セキュリティ面を大幅に強化することができる．

5.Web サーバ[2]

研究室内だけでなく，どこからでもファイルの共有を行えるように，今回はWebDAVというWebサーバ上のファイル管理を目的とした分散 ファイルシステムを実現するプロトコルを用いた．WebDAVはHTTP接続を用いたものであり，firefoxなどのブラウザからアクセスすることができるため，クライアント側にとってとても扱いやすいという特徴がある．

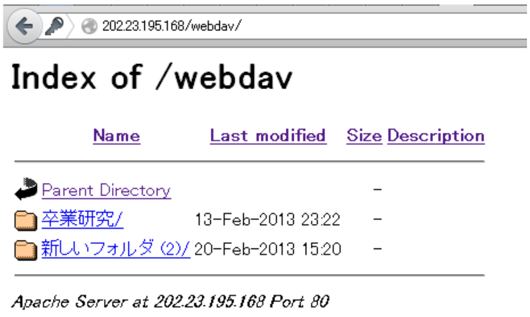


図 4.Web サーバにアクセスした画面

図4のように，サーバ側でディレクトリの作成や，WebDAV機能を許可にすることによってHTTP接続でファイルをダウンロードすることができる．

セキュリティ面の強化として，一つ目にBasic認証を用いたユーザアカウント認証を導入した．二つ目に通信経路上での盗聴や第三者によるなりすましを防止するために，HTTPS接続を導入した．HTTPSとは，SSL（Secure Socket Layer）というインターネット上で情報を暗号化して送受信するプロトコルを用いたものである．

SSLを導入するためには，SSLサーバ証明書（図5参照）というものを作成しなければならない．これは，ウェブサイトの所有者の情報，送信情報の暗号化に必要な鍵，発行者の署名データを持った電子証明書である．これによって，証明書に表示されたサーバの所有者であることの証明とブラウザとWebサーバ間でのSSL暗号化通信を実現することができる．

図 5.SSL サーバ証明書

6.まとめ

・本研究を通して，サーバに関する理解と知識を深めることができた．

・仮想化サーバを構築することができた．

・サーバのリモート接続をすることができた．また，鍵認証により，セキュリティを強化することができた．

・WebDAVによって，ファイルの受け渡しを簡単にできるようにした．また，BASIC認証とHTTPS通信により，セキュリティを強化することができた．

以上のことより，開発環境の利用とファイルの共有といった，研究室の環境整備を行うことが出来た．

7.参考文献

[1] サーバ構築研究会“CentOS 6”で作るネットワークサーバ構築ガイド　秀和システム

[2]宮本久仁夫　“WebDAV”システム構築ガイド　技術評論社

番　　　号	E-38	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）.NET Framework を用いた音声認識アプリケーションの作成

研 究 者 （ 連 名 者 ）	田中　修司
所　　　　　　　属	電子工学科
指　　導　　教　　員	松尾　和典(准教授)

1.　背景

近年，音声認識・音声合成など音声に関する技術が向上しておりパソコンや携帯などでもその技術は使用されている．そこで、音声認識を利用したアプリケーションソフトを作成したいと考えた．

また，研究を通じてアプリケーション開発の技術を習得し，プログラミングの技術を向上させたいと考えた．そこで，他の言語にも対応しており，扱いやすい.NET Framework に注目した．

2.　音声認識[1]

音声認識はパターン認識の 1 種であり，パターンをあらかじめ定められた複数の概念(クラス)に対応させることをパターン認識という．パターン認識システムは前処理部，特徴抽出部，識別部から構成される．

2.1.前処理部

前処理部には音声認識の場合マイクなどの音声入力デバイスからの信号が入力される．音声は空気の疎密波であり，アナログ信号であるが，コンピュータではディジタル信号しか扱うことができないので，入力されたアナログ信号のディジタル化が行われる．

2.2.特徴抽出部

前処理部でディジタル化したデータからパターン認識に用いる特徴情報を取り出す．パターン認識に用いられる特徴は次式の特徴ベクトルで表される．

$$\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, \ldots, x_d)^t$$

d:次元数

特徴ベクトルにより 張られる空間を特徴空間という．（図 1)

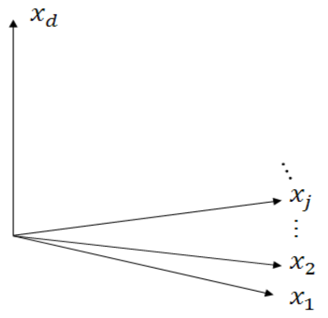


図 1．特徴空間と特徴ベクトル

2.3.識別部

特徴ベクトルがどの概念に属するかを判別する．その判別には識別辞書を用いる．識別辞書のお手本ベクトルをプロトタイプと呼び，特徴ベクトルを **x**，プロトタイプを **p** とすると，**x** は最もユークリッド距離が近い **p** の属する概念に属すると判別する．この方法を最近傍決定則（図 2）という．

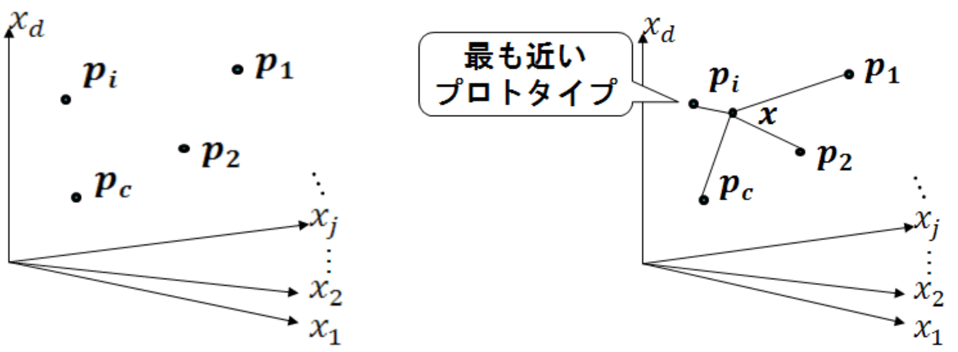


図 2.特徴空間上のプロトタイプと最近傍決定測

3. .NET Framework[2]

.NET Framework は CLR(Common Language Runtime)：共通言語ランタイムと.NET Framework クラスライブラリからなっている．

CLR は.NET Framework 対応のアプリケーションを実行する共通動作環境のことである．

.NET Framework クラスライブラリは Web アプリケーション機能を提供する ASP.NET やデータアクセス機能を提供する ADO.NET，デスクトップアプリケーションに利用できる windows フォームなどのクラスが提供されている．

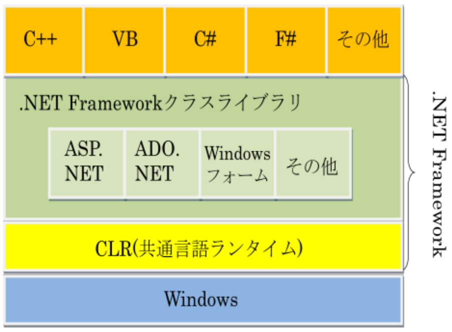


図 3..NET Framework の実行環境

4. 音声認識アプリケーション

アプリケーションのながれを図 4 に示す．文法を指定するタイプと指定しないタイプとでは Load イベント発生時の処理が異なる(図 5)．指定するタイプは文法をビルドし，その文法を読み込む処理が入る．指定しないタイプは音声認識サービスから提供される文法を読み込む処理になる．

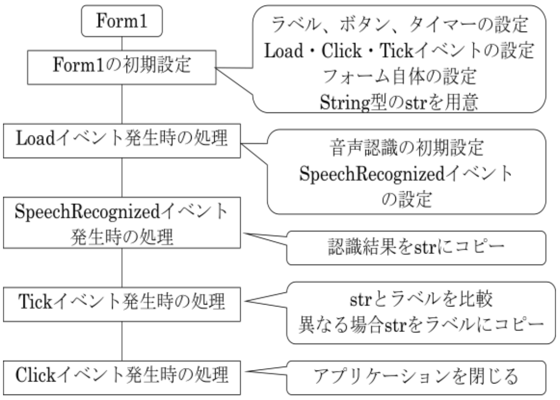


図 4.音声認識アプリケーションのながれ

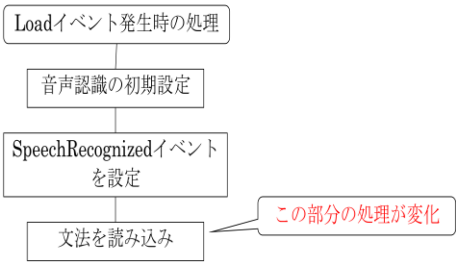


図 5.Load イベント発生時の処理

実行した結果，文法を指定するタイプは自分の設定した文法を入力した際に認識できたが，全く関係のない言葉を入力した際も認識していた．指定しないタイプは誤認識として自分の発音に近い単語をかえすことがあった．

このプログラムを基本に文法を指定しないタイプのもの，指定するタイプのものそれぞれを応用したアプリケーションを作成した．

5. まとめ

・.NET Framework クラスライブラリを利用すればプログラム作成が容易になる．
・音声認識には文法を指定するタイプとしないタイプがある．
・指定しないタイプの利点：話したことがそのまま認識される．
・指定しないタイプの欠点：工夫をしないと認識率が低い．
・指定するタイプの利点：認識結果に制限をかけられる．指定した文法に対する認識率が高い．
・指定するタイプの欠点：関係のない言葉でも認識することがある．使用方法が限られる．

6. 今後の展望

・認識率を上げる工夫をする．
・逐次比較ではなく，変化を読み取って結果を出力できるようにする．
・さらに機能を付け加える．

7. 参考文献

[1]荒木雅弘　著，“フリーソフトで作る音声認識システム”，森北出版株式会社(2007)，pp.2-9
[2]WINGS プロジェクト　著，山田祥寛　監修，“プログラムを作ろう！Microsoft Visual C++ 2010 入門 Express エディションで学ぶ初めてのプログラミング”，日経 BP 社(2010)，pp.7-8

番　　　号	E-39	発 表 年 月 日	平成２５年２月２２日

（題名）Android アプリの製作

（副題）地図データを用いた行動記録システム

研 究 者 （ 連 名 者 ）	建山　大宙
所　　　属	電子工学科
指　導　教　員	松尾　和典（准教授）

1.研究背景

新しい計測機器の中には OS 上で，柔軟なインターフェイスを提供するものが出てきた.

サーバにアクセスし，顧客自身で必要なモジュールの組み換えを行うことで，思いのままに計測システムを構築・再構築ができる. この様な計測機器の開発に携わるために今後必要となるアプリケーションの作成に関する知識，プログラミングスキルを得るために，サーバとの通信機能を持つ Android アプリの作成を行う.

2.開発手順

必要となる Android アプリ開発環境を整備し，以下の手順で開発を進める.

サーバ側：

・ユーザーID 登録を行う.

・クライアントから送られてくる位置を記録させる.

・管理者登録画面を作成する.

クライアント側：

・GPS 衛星から送られてくる位置情報を Android スマートフォンで取得し現在地確認を行う.

・位置情報をサーバで記録し，行動記録をスマートフォンに送信する.

3.サーバ側の開発

地図を表示させる方法は，JavaScript を使って Web サーバと通信するプログラムを作成した. JavaScript とは Java 言語の一種で，Web アプリケーションを作成するために用いられるプログラミング言語である. ユーザーの入力内容によって表示内容を変えることができる. ユーザー認証ページの作成では行動記録システムを使う際にユーザー認証でユーザーを特定し，ログインしたユーザー自身の情報だけが閲覧できるように必要がある. ユーザー認証には，Google Accounts APIsを利用する. ユーザー認証が必要な URL を指定することで，どのフォルダやファイルにアクセスする際にユーザー認証が必要となるかを設定することができる.

クライアント（Android スマートフォン）から送信された位置情報や，名前などユーザーの情報が Datastore に保存されるようにする. 位置情報クラス，ユーザー情報クラス，PMF クラスを作成することでユーザー自身の情報をサーバに保存することができる. データを検索したり更新したりするには直接制御できる JDO を利用する. JDO で Datastore にアクセスするために必要なのが PMF クラスである.

サーバでのテストは firefox のアドオン poster を用いる. Poster をクライアントの代替えにし，サーバに位置情報を送信し，その位置情報が正しくサーバに記録されているか，不正なデータが入ったときはデータを記録せずにエラーを返してくるか，といった点を確認することができる.

初めは Datestore には何の情報も入っていないためデータはないが，Poster を用いて URL に LoginID と経度，緯度を入力すると下図のように入力した位置情報が確認できる.

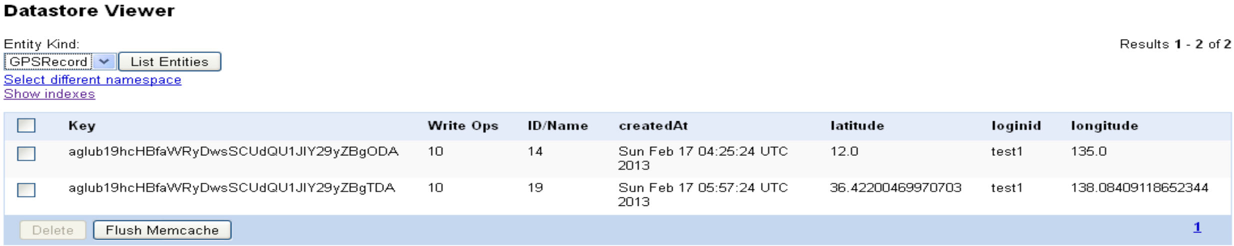


図1：Datastore での位置情報の確認画面

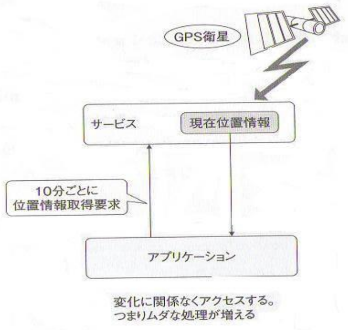
4.クライアント側の開発

Androidアプリケーション内でGoogle Mapsの地図を表示させるためにAndroid Maps APIを用いる. Android Maps APIによるオーバーレイ機能により地図上に情報を表示することができる. 取得した緯度, 経度をを用いて地図上に現在地として表示する.
Google Maps を利用するにあたりフィンガープリントと呼ばれる証明書が必要である. コマンドプロンプトにてjdk の keytool から証明書を発行しその証明書にある MD5 というコードを Google にて API KEY Signup のサイトに MD5のコードを入力することで, Android Maps Key を取得する. これにより, Android Maps の利用が可能になる.
次に地図表示画面で設定と行動履歴というメニューを表示する. 設定画面では更新頻度, 接続するサーバ, ログイン ID を設定するようにし, 行動履歴では過去どのくらいの時間の履歴を表示するかを設定します.
次に位置情報の送信をサービスにする. どの機能をサービスとして動作させるかを決め, 常に動作している必要のある位置情報の送信をサービスとして実装する. AIDL ファイルを作成し, アプリケーションからサービスに対してアクセスするメソッドを用意する. サービスはアプリケーションと独立して動作しているため, サービスとアプリケーションの間を取り持つプログラムを作成する.
サービスにコールバックを定義する. サーバ側で取得した位置情報を, アプリケーション側に通知させる仕組みが必要で, 2通りの方法でこれを実現する.

手法:

① アプリケーションからサービスに対して定期的に位置情報を取得する.
② アプリケーションにコールバック関数を定義する. サービス側では, 位置情報が変化するたびに, 定義されたコールバックを呼ぶ.

無駄な処理が少ない②を採用することにした.



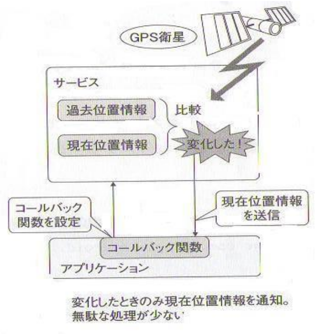


図2:手法①　　　　　図3:手法②

エミュレータによるテストでは, 先ほどの設定にてサーバ名, ユーザーIDを設定する. Eclipse のDDMSビューの中にある, Location Controls から目的地の緯度, 経度を入力し, エミュレータに位置情報を送信する. DDMSとはアンドロイド上で動作している仮想マシンどのようなプログラムが現在実行されているのか, メモリーの消費状況, プログラムの強制終了をすることができる. より詳細な情報を取得でき, その情報を基にアプリケーションをデバッグすることもできる.
この位置情報は, 行動記録アプリケーションのサービスによって受信される. このサービスが, サーバに向かって位置情報を送信する.
実機によるテストでは, アンドロイドの端末にて「設定」-「アプリケーション」-「開発」-「USB デバッグ」にチェックをいれる.
実行の構成にて実行先をスマートフォンに設定すると, 実機にてテストを行うことができた.

図4:実機によるテスト

5.参考文献

クラウド活用のための Android 業務アプリ開発入門　出村成和著　日経 BP 社